

VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要

目 次

1.	概要	1
2.	敷地周辺の地震発生状況	2
2.1	被害地震	2
2.2	敷地周辺で発生したM5.0以上の地震	4
2.3	敷地周辺で発生したM5.0以下の地震	5
3.	活断層の分布状況	6
4.	地震の分類とその特徴	7
4.1	プレート間地震	7
4.2	海洋プレート内地震	8
4.3	内陸地殻内地震	9
5.	敷地地盤の振動特性	10
5.1	敷地地盤の速度構造	10
5.2	地震観測	11
5.3	解放基盤表面の設定	12
5.4	地下構造モデル	13
6.	基準地震動 S_s	14
6.1	地震発生層の設定	14
6.2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	15
6.2.1	検討用地震の選定	15
6.2.2	検討用地震の地震動評価	18
6.3	震源を特定せず策定する地震動	27
6.3.1	評価方法	27
6.3.2	既往の知見	27
6.3.3	検討対象地震の選定と震源近傍の観測記録の収集	27
6.3.4	震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトル	29
6.4	基準地震動 S_s の策定	30
6.4.1	敷地ごとに震源を特定して策定する基準地震動 S_s	30
6.4.2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s	31
6.4.3	基準地震動 S_s の時刻歴波形	31
6.5	基準地震動 S_s の超過確率の参照	33
7.	弾性設計用地震動 S_d	35
7.1	設定根拠	35
7.2	安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率について	36
8.	参考文献	37

1. 概要

施設の供用中に耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による地震動（以下「基準地震動 S_s 」という。）は、以下の方針により策定することとする。

まず、敷地周辺における活断層の性質や敷地周辺における地震発生状況等を考慮して、その発生様式による地震の分類を行った上で、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という。）を選定した後、敷地での地震動評価を行い、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価する。

次に、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」を評価する。

最後に、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づき、基準地震動 S_s を策定する。

2. 敷地周辺の地震発生状況

女川原子力発電所が位置する東北地方では、海洋プレートである太平洋プレートが陸側に向かって近づき、日本海溝から陸のプレートの下方へ沈み込んでいることが知られており、このプレート運動により、東北地方における活断層の多くは、南北方向の走向を示す逆断層であることが知られている⁽¹⁾。

東北地方で発生する地震は、その発生様式から、太平洋側沖合いの日本海溝から陸側に向かって沈み込む海洋プレートと陸のプレートとの境界付近で発生する「プレート間地震」、沈み込む（沈み込んだ）海洋プレート内で発生する「海洋プレート内地震」及び陸域の浅いところで発生する「内陸地殻内地震」の3種類に大別される。

敷地周辺における被害地震、地震活動等を以下のとおり整理する。

2.1 被害地震

日本国内の地震被害に関する記録は古くからみられ、これらを収集、編集したものととして、「増訂 大日本地震史料」⁽²⁾、「日本地震史料」⁽³⁾、「新収 日本地震史料」⁽⁴⁾、「日本の歴史地震史料」⁽⁵⁾等がある。

また、地震史料及び明治以降の地震観測記録を基に、主な地震の震央位置、地震規模等をまとめた地震カタログとして、「日本被害地震総覧」⁽⁶⁾、「地震活動総説」⁽⁷⁾、「理科年表」⁽⁸⁾、「気象庁地震カタログ」⁽⁹⁾等がある。

日本被害地震総覧」及び「気象庁地震カタログ」等に記載されている地震のうち、敷地からの震央距離（以下「 Δ 」という。）が200km程度以内の主な被害地震の震央分布を図2-1に示す。また、同図に示した主な被害地震の諸元を表2-1に示す。ここで、地震規模及び震央位置は、1922年以前の地震については「日本被害地震総覧」による値を、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による値をそれぞれ用いている。

図2-1によると、宮城県沖近海から日本海溝付近の間ではプレート間地震が発生しており、宮城県沖近海ではマグニチュード（以下「M」という。）7.5程度以下の地震が数多くみられ、1978年宮城県沖地震（M7.4、 Δ =65km）が発生している。遠方の海域では、M7クラス後半からM8クラスの地震が発生しており、1897年8月5日仙台沖の地震（M7.7、 Δ =157km）が、陸寄りと日本海溝寄りの両方の領域が連動した地震としては1793年陸前・陸中・磐城の地震（M8.2、 Δ =262km）が発生している。さらに、東日本を中心に北海道から九州地方にかけての広い範囲で揺れが観測された「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」（モーメントマグニチュード（以下、「 M_w 」という。）9.0、 Δ =124km）（以下、「2011年東北地方太平洋沖地震」という。）が発生している⁽¹⁰⁾。この地震の余震の分布を図2-2に示す。余震は、岩手県沖から茨城県沖にかけて、震源域に対応する北北東-南南西方向に延びる長さ約500km、幅約200kmの範囲（以下、「余震域」という。）に密集している

ほか、震源域に近い日本海溝軸の東側や陸域の浅い場所でも活動がみられる。

沈み込む海洋プレート内地震としては、日本海溝付近に発生した 1933 年三陸沖の地震 (M8.1, $\Delta=325\text{km}$) が、沈み込んだ海洋プレート内地震としては、2003 年宮城県沖の地震 (M7.1, $\Delta=48\text{km}$) , 2008 年岩手県沿岸北部の地震 (M6.8, $\Delta=148\text{km}$) 及び 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震の 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震 (M7.2, $\Delta=43\text{km}$) が発生している。

内陸地殻内地震では、宮城県北部で M7 クラスの地震が発生しており、敷地から 30km 程度以内では、2003 年宮城県中部の地震 (M6.4, $\Delta=29\text{km}$) が発生している。また、奥羽山脈から日本海側にかけての地域では 2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2, $\Delta=88\text{km}$) が、福島県と茨城県との県境付近の福島県浜通りでは 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震の 2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震 (M7.0, $\Delta=177\text{km}$) が発生している。

世界的に見た場合⁽¹¹⁾、地震規模の大きい被害地震として、プレート間地震では 1960 年チリ地震 (M_w 9.5)⁽¹²⁾等が、海洋プレート内地震では 1994 年北海道東方沖地震 (M8.2)⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾等が知られている。

2.2 敷地周辺で発生したM5.0以上の地震

「気象庁地震カタログ」に基づき、1923年から2017年4月までの期間に敷地周辺で発生したM5.0以上の地震の震央分布を図2-3に、敷地付近を横切る幅50kmの範囲に分布する震源鉛直分布を図2-4に示す。また、太平洋プレートの沈み込みの様子について等深線で表したもの⁽¹⁵⁾を図2-5に示す。

図2-3～図2-5によると、敷地周辺における地震活動の特徴は以下のとおりである。

- ・震央分布図によれば、敷地周辺で発生する地震は、太平洋側海域で発生頻度が高く、2011年東北地方太平洋沖地震や、その余震が数多く発生している。
- ・震源鉛直分布図によれば、太平洋側海域で発生する地震は、太平洋プレートの沈み込みによる地震が多く、陸域に近づくに従ってその震源は深くなっている。
- ・敷地から100km以内では、宮城県沖の近海のプレート境界でM7.0を超える地震の発生がみられる。

2.3 敷地周辺で発生したM5.0以下の地震

「気象庁地震カタログ」に基づき、2008年から2017年4月までの期間に敷地周辺で発生したM5.0以下の地震の震源深さ毎の震央分布を図2-6に、震源鉛直分布を図2-7に示す。

これらの図によると、敷地周辺における地震活動の特徴は以下のとおりである。

- ・深さ0～30kmの範囲では、太平洋側海域のプレート境界付近で地震が数多く発生している。一方、陸域の内陸地殻内では、2003年宮城県中部の地震及び2008年岩手・宮城内陸地震の震源域付近に地震の集中がみられる。また、2011年東北地方太平洋沖地震の余震とされている2011年4月11日福島県浜通りの地震の震源域付近及び金華山付近にも地震の集中がみられる。
- ・深さ30～60kmの範囲では、太平洋側海域のプレート境界付近に多くの地震がみられるが、陸域においては地震の発生はほとんどみられない。
- ・深さ60km以上の範囲では、太平洋プレートの沈み込みに沿って地震が発生しており、震源鉛直分布には二重深発地震面がみられる。これらの地震は、陸域に近づくにしたがってその震源が深くなり、敷地周辺では深さ70km程度で発生している。なお、沈み込んだ海洋プレート内地震である2003年宮城県沖の地震や2011年4月7日宮城県沖の地震の震源域に地震の集中がみられる。

3. 活断層の分布状況

敷地から半径 100km 程度の範囲について、「[新編]日本の活断層」⁽¹⁶⁾等に記載されている活断層の分布を図 3-1 に示す。

同図によると、敷地から 50km 以内では、太平洋側海域に F-6 断層～F-9 断層等が存在し、仙台湾に F-15 断層・F-16 断層等が存在する。また、陸域においては、旭山撓曲・須江断層等が存在する。

なお、敷地から 100km 程度以内にある長町-利府線断層帯、双葉断層、北上低地西縁断層帯等は、地震調査研究推進本部（2009b）⁽¹⁷⁾が長期評価の対象とした断層である。

4. 地震の分類とその特徴

「2. 敷地周辺の地震発生状況」によれば、敷地周辺で発生する地震は、その発生様式からプレート間地震、海洋プレート内地震及び内陸地殻内地震の3種類に大別される。

これらを踏まえ、敷地周辺における主な地震を以下のとおりに分類する。

4.1 プレート間地震

宮城県沖近海から日本海溝付近にかけて、1978年宮城県沖地震を代表としたプレート間地震が複数発生している。地震調査研究推進本部(2012a)⁽¹⁵⁾により評価されたこの海域で過去に発生したプレート間地震を表4-1に示す。一方、日本海溝付近では、1611年三陸沿岸及び北海道東岸の地震(M8.1, $\Delta=261\text{km}$)及び1896年三陸沖の地震(M8 $\frac{1}{4}$, $\Delta=248\text{km}$)が発生している。しかしながら、これらの地震による震害は小さく⁽⁶⁾、地震の規模に比べて津波の規模が大きい津波地震と考えられている⁽¹⁵⁾。さらに、複数の震源域が連動することにより、震害及び津波を伴った地震として869年三陸沿岸の地震(M8.3, $\Delta=219\text{km}$)及び2011年東北地方太平洋沖地震がある⁽¹⁵⁾。

「日本被害地震総覧」に記載されている震度分布図及び気象庁で公開されている震度分布図より、敷地で震度5弱(1996年以前は震度V)程度以上の揺れであったと推定される地震としては、1793年陸前・陸中・磐城の地震、1897年2月20日仙台沖の地震(M7.4, $\Delta=48\text{km}$)、1905年岩手県沖の地震(M5.9, $\Delta=28\text{km}$)、1938年福島県東方沖地震(M7.5, $\Delta=168\text{km}$)、1978年宮城県沖地震、2005年宮城県沖の地震(M7.2, $\Delta=73\text{km}$)及び2011年東北地方太平洋沖地震とその余震がある。これらの震度分布図を図4-1に示す。このうち、1978年宮城県沖地震では、震度Vとなった範囲は宮城県、岩手県南部、福島県北部及び山形県の一部に及んだ。また、2011年東北地方太平洋沖地震の各地の震度は、宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県及び栃木県の4県37市町村で震度6強を観測したほか、東日本を中心に北海道から九州地方にかけての広い範囲で揺れが観測された⁽¹⁰⁾。これらの地震の地震規模及び震央距離と震度との関係を図4-2に示す。

2011年東北地方太平洋沖地震の震源域は、三陸沖中部から茨城県沖で発生したプレート間地震の震源域を包含していることが知られている⁽¹⁵⁾⁽²²⁾。同地震の余震域(本震発生から1日の間)と過去に発生した地震の震源域を図4-3に示す。このことから、2011年東北地方太平洋沖地震は、この地域の沈み込み帯で発生する地震としては最大級の地震と考えられる。

4.2 海洋プレート内地震

東北地方から北海道では、海溝から陸側に向かって沈み込んだ海洋プレート内で発生する地震は二重深発地震面を形成している。北海道と東北地方とでは二重深発地震面の活動の特徴に違いがあり、北海道では海洋プレート内の応力中立面が浅く下面の活動が優勢なのに対し、東北地方では応力中立面が深く上面の活動が優勢という特徴を有することが指摘されている⁽²³⁾⁽²⁴⁾。

海洋プレート内地震の発生原因の一つに脱水脆性化が指摘されている⁽²⁵⁾。これによると、規模が大きい海洋プレート内地震は海洋プレート内の至るところで発生するわけではなく、アウターライズにおいて形成された含水鉱物が存在する領域で発生するとされ、このような領域は海洋性マントル内の低速度域として認識されている。

二重深発地震面の上面で発生した主な地震として、2003年宮城県沖の地震（M7.1）及び2011年4月7日宮城県沖の地震（M7.2）がある。2011年4月7日宮城県沖の地震の震度分布⁽²⁶⁾を図4-4に示す。震度分布図によれば、この地震は、東日本を中心に各地に強い揺れをもたらし、敷地周辺の震度は6弱程度であったと推定される。また、この地震の断層面に沿った地震波トモグラフィによるS波速度分布から、余震分布により推定される断層面は、海洋性マントル内の低速度域に対応していると考えられる⁽²⁷⁾。

二重深発地震面の下面で発生した主な地震としては、北海道で発生した1993年釧路沖地震（M7.5）があるが、東北地方ではこれまでM7クラスの地震は知られておらず、2008年岩手県沿岸北部の地震（M6.8）では、震源から距離が遠く敷地周辺での震度は3～4程度であった⁽⁹⁾。

また、世界的にみて最大級の海洋プレート内地震である1994年北海道東方沖地震（M8.2）は、千島海溝軸付近で発生した沖合いのやや浅い地震であった⁽²⁸⁾。日本海溝付近で発生した沖合いのやや浅い地震のうち東北地方の最大としては、2011年東北地方太平洋沖地震の余震域内で発生した2011年三陸沖の地震（M7.3、 $\Delta=180\text{km}$ ）があるが、震源から距離が遠く敷地周辺での震度は3程度であった⁽⁹⁾。

さらに、東北地方の日本海溝付近で発生する沈み込む海洋プレート内の地震（アウターライズ地震）のうち地震規模の大きなものとしては、1933年三陸沖の地震（M8.1）がある。しかしながら、この地震は、陸地に近い位置で発生した沈み込んだ海洋プレート内地震に比べて被害は少なかったことが知られている⁽⁶⁾⁽⁹⁾。

なお、1611年三陸沿岸及び北海道東岸の地震（M8.1）は、地震調査研究推進本部⁽¹⁵⁾⁽²⁹⁾では地震の規模に比べて津波の規模が大きい津波地震としているものの、土木学会（2002）⁽³⁰⁾では、海洋プレート内地震であった場合、その地震規模はM8.6と評価している。

4.3 内陸地殻内地震

震度分布図等より敷地付近で震度 4～5（1996 年以前は震度Ⅳ～Ⅴ）程度の揺れであったと推定されている地震として、1900 年宮城県北部の地震（M7.0， $\Delta=48\text{km}$ ）が発生している⁽⁶⁾。敷地から最も近い被害地震としては、2003 年宮城県中部の地震がある。この地震は、敷地付近における震度は震度 4 未満と推定されており⁽³¹⁾、石巻平野西部の丘陵に位置する旭山撓曲・須江断層によるものと考えられる。なお、敷地の位置する北上山地南部では被害地震は知られていない。

5. 敷地地盤の振動特性

5.1 敷地地盤の速度構造

試掘坑内における屈折法による弾性波試験の結果、S波速度は平均約 1.4 km/s である。また、炉心直交断面において実施した複数のP S検層結果の速度層境界の深さを地質を考慮して結ぶと、敷地地盤全体の速度層構造は概ね水平な成層構造をなす5層に区分され、原子炉建屋の設置レベルに位置する第3速度層のS波速度は1.5km/sである。

5.2 地震観測

(1) 敷地地盤で観測された主な地震

敷地地盤では、図 5-1 に示す自由地盤で地震観測を実施している。観測された主な地震の諸元を表 5-1 に、震央分布を図 5-2 に示す。これらの地震について、岩盤上部の地震観測点（O.P. -8.6m）で得られた観測記録の応答スペクトルを図 5-3 に示す。

また、2011 年東北地方太平洋沖地震について、岩盤内の各深さで得られた観測記録の応答スペクトルを図 5-4 に示す。同図によると、岩盤内で著しい増幅は認められない。

(2) 地震波の到来方向の違いによる増幅特性

敷地では、図 5-1 に示す自由地盤観測点のほか、原子炉建屋直下の地盤においても地震観測を実施している。敷地で観測された中小地震の観測記録を用いて、地震波の到来方向別の増幅特性の検討を行った。検討に用いた地震の震央分布図を図 5-5 に示す。深部で観測を行っている各観測点の鉛直アレイ、自由地盤観測点を基準とした深部及び浅部の水平アレイについて、応答スペクトル比による検討を行った結果を図 5-6 及び図 5-7 に示す。各観測点とも地震波の到来方向の違いによる特異な増幅特性は認められず、また各観測点の振動特性の違いは小さい。

5.3 解放基盤表面の設定

敷地周辺には中生界ジュラ系の砂岩，頁岩等が広く分布し，原子炉建屋基礎地盤の大部分は，著しい風化を受けていない C_M 級以上の岩盤から構成されている。その速度層構造は，炉心直交断面において実施した P S 検層結果から，S 波速度が 0.7km/s 以上の硬質岩盤で，概ね水平な成層構造をなして相当な拡がりをもって分布しており，原子炉建屋の設置レベルに位置する第 3 速度層の S 波速度は 1.5km/s となっている。以上のことから，解放基盤表面は，この岩盤が分布する原子炉建屋の設置位置である O.P. -14.1m に設定する。

また，「5.2 地震観測」に示すように，敷地では岩盤内における観測記録の著しい増幅特性は認められないこと，また，地震波の到来方向の違いによる特異な増幅特性は認められず，場所の違いによる振動特性の違いも小さいことから，解放基盤表面の地震動特性は，自由地盤における岩盤上部の地震観測点位置（O.P. -8.6m）で代表する。

5.4 地下構造モデル

敷地地盤の速度層構造は概ね水平な成層構造であることから、敷地の地下構造モデルは一次元モデルとした。

はぎとり解析に用いる地下構造モデルを表 5-2 に、統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデルを表 5-3 に、ハイブリッド合成法のうち理論的手法に用いる地下構造モデルを表 5-4 に示す。

はぎとり解析に用いる地下構造モデルは、ボーリング調査結果に基づき初期値を設定し、敷地における中小地震の地震観測記録を用いて各層の層厚、速度及び減衰を最適化した。さらに岩盤より浅い表層部分について 2003 年宮城県沖の地震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震記録を用いて設定したモデルを採用した。2011 年東北地方太平洋沖地震の敷地における観測記録の伝達関数とはぎとり解析に用いる地下構造モデルの伝達関数の比較を図 5-8 に示す。

統計的グリーン関数法⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾に用いる地下構造モデルは、統計的グリーン関数法の地震基盤波を入力する位置（以下「地震基盤」といい、敷地においては 0.P. - 128.4m とする。）から解放基盤表面までの層厚及び速度をはぎとり解析に用いる地下構造モデルとし、減衰を 2003 年宮城県沖の地震及び 2005 年宮城県沖の地震のシミュレーション解析⁽³⁷⁾で敷地の観測記録との整合を確認して設定したモデルを採用した。この地下構造モデルは、2011 年東北地方太平洋沖地震及び 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震についてもシミュレーション解析⁽³⁸⁾を実施し、敷地の観測記録との整合を確認した。諸井ほか（2013）⁽³⁹⁾の断層モデルを用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析結果と敷地における観測記録との比較を図 5-9 に示す。

理論的手法に用いる地下構造モデルの 0.P. - 128.4m 以浅の浅部地下構造は、統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデルの層厚及び速度とし、減衰を防災科学技術研究所（2012）⁽⁴⁰⁾に基づき設定した。0.P. - 128.4m 以深の深部地下構造は、防災科学技術研究所（2012）及び地震調査研究推進本部（2012b）⁽⁴¹⁾に基づき設定した。設定した地下構造モデルは、敷地における観測記録と理論波形との比較により検証を行った。検証に用いた地震は、地下構造モデルの適用を考慮し、敷地周辺で発生した内陸地殻内地震のうち長周期成分を比較的含み震源メカニズムが明らかな地震を選定し、2003 年 8 月 8 日宮城県北部の地震（M4.6）、2012 年 10 月 1 日宮城県沖の地震（M4.6）及び 2014 年 2 月 12 日金華山の地震（M4.2）を採用した。

6. 基準地震動 S_s

基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定する。

なお、水平方向の 2 成分は、施設の配置を考慮してプラントノースを基準とする。

6.1 地震発生層の設定

敷地周辺の地震発生層は、気象庁による地震観測記録に基づいた敷地周辺の微小地震分布、2003 年宮城県中部の地震の海野ほか（2004）⁽⁴²⁾ による稠密な余震観測結果と気象庁震源の比較検討結果及びコンラッド面に関する深さの知見⁽⁴³⁾を総合的に判断して設定する。

この結果、地震発生層は、上端深さを 3km、下端深さを 15km、その厚さを 12km と設定した。

6.2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

6.2.1 検討用地震の選定

「4. 地震の分類とその特徴」に基づき、地震発生様式ごとに敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる検討用地震を選定する。

(1) プレート間地震

「4.1 プレート間地震」に示すとおり、2011年東北地方太平洋沖地震は、敷地を含む広い領域で震度6弱となっており、他の被害地震と比較して敷地への影響が大きい。また、図4-2に示すM-△図の検討から、敷地への影響が最も大きい地震は、2011年東北地方太平洋沖地震である。2011年東北地方太平洋沖地震の震源域は、敷地に震度5弱程度以上を与えたとされる三陸沖中部から茨城県沖の被害地震の震源域を包含している。地震調査研究推進本部（2012a）⁽¹⁵⁾においても、プレート間地震として、過去のM7～8クラスの地震が発生した複数の領域を震源域とする東北地方太平洋沖型の地震（M_w9.0前後）を想定している。

以上のことから、プレート間地震の検討用地震として、2011年東北地方太平洋沖地震を代表とする三陸沖中部から茨城県沖で発生するM_w9.0の地震（以下「2011年東北地方太平洋沖型地震」という。）を選定した。

(2) 海洋プレート内地震

「4.2 海洋プレート内地震」に示すとおり、発生機構等の違いを踏まえ、地震タイプ別に海洋プレート内地震の検討対象地震を想定し、あらかじめ不確かさを考慮して敷地への影響検討を行ったうえで、最も影響の大きい地震タイプを検討用地震として選定する。

検討対象地震を想定するにあたり、海洋プレート内地震については、発生場所や地震規模等に関する十分な知見が得られていない場合があることから、次に示す事項を共通に考慮した。

地震の想定位置については、過去の地震の発生状況や海洋プレート内地震に関する地震学の知見を考慮した。地震規模は、東北地方の海洋プレート内で発生した最大規模（M7.3）を考慮し、さらに、東北地方とは地震テクトニクスが異なる北海道の最大規模は該当する地震タイプに考慮した。また、断層面のなかで特に強い地震波（強震動）を発生させる領域（以下「強震動生成域」という。）の応力降下量（短周期レベル）及び強震動生成域の位置については、地震タイプごとに敷地周辺で発生した規模の大きな海洋プレート内地震の知見を踏まえた想定とした。ここで、短周期レベルとは、地震動評価の短周期側に与える影響が大きい加速度震源スペクトルの短周期領域におけるレベルをいう。想定にあたり共通に考慮した事項を図6-1(1)に示す。

検討対象地震として想定した5つの地震タイプについて、不確かさも踏まえた

設定を以下に示す。

a. 二重深発地震面上面の地震 2011年4月7日宮城県沖型地震

「4.2 海洋プレート内地震」に示すとおり、2011年4月7日宮城県沖の地震（M7.2）の震源域は、沈み込んだ海洋プレート内の低速度域と対応し、震源域のさらに北側には低速度域が広がっている。また、東北地方の沈み込んだ海洋プレート内地震としては、同地震を上回るM7.3の地震が発生している。このことから、同地震の位置にM7.5の地震を想定した。また、同地震の短周期レベルは、東北地方で発生した二重深発地震面上面で発生した規模の大きな地震としては最も大きいことから、この短周期レベルを考慮した。

b. 二重深発地震面上面の地震 2003年5月26日宮城県沖型地震

2003年5月26日宮城県沖の地震（M7.1）は、二重深発地震面の上面・面間・下面に微小地震が集中している個所で発生した。このことから、東北地方で知られている最大規模（M7.3）を敷地に最も近い海洋プレート内の微小地震集中個所である同地震の発生位置に想定した。同地震の短周期レベルは、地震調査研究推進本部（2017）⁽⁴⁴⁾の知見を上回ることから、これを考慮した。なお、同地震は陸域に近い場所で発生したことから、M7.1の地震を保守的に敷地下方に想定したとしても、上記影響を上回らない。

c. 二重深発地震面下面の地震

2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震（M6.8）は、東北地方で発生した二重深発地震面下面の地震の最大であり、陸域の二重深発地震面の上面・面間・下面に微小地震が集中している個所で発生した。このことから、東北地方で知られている最大規模（M7.3）を敷地に最も近い海洋プレート内の微小地震集中個所である2003年宮城県沖の地震の下面の位置に想定することが考えられる。一方、2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震は、陸域で発生した地震であること、さらに、地震テクニクスに違いはあるものの、北海道で発生した二重深発地震下面の地震の最大規模はM7.5であることから、保守的に敷地下方へM7.5の地震を想定した。また、同地震の短周期レベルは、2011年4月7日宮城県沖の地震よりも大きいことから、これを考慮した。

d. 沖合いのやや浅い地震

2011年7月10日三陸沖の地震（M7.3）は、日本海溝付近のやや浅い場所で発生した海洋プレート内地震であり、東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内地震としては最大規模の地震である。同地震の発生位置に、地震テクニクスに違いはあるものの北海道で発生したやや浅い地震の最大規模である1994年北海道東方沖地震と同じM8.2を想定した。同地震の短周期レベルは、地震調査研究推進本部（2017）よりも小さいことから、保守的に地震調査研究推進本部（2017）に基づき設定した。

なお、同地震に2011年4月7日宮城県沖の地震の短周期レベルを考慮した場合でも上記影響を上回らない。

e. アウターライズ地震

日本海溝東側の海洋プレート内で発生するアウターライズ地震の最大規模としては1933年三陸沖の地震(M8.1)が発生しており、また、最近では2011年3月11日15時25分三陸沖の地震(M7.5)が発生している。このことから、日本海溝東側のうち敷地に最も近い位置にM8.1の地震を想定することが考えられるが、保守的に土木学会(2002)の1611年三陸沿岸及び北海道東岸の地震の規模(M8.6)を想定した。短周期レベルは、2011年3月11日15時25分三陸沖の地震を考慮した。

なお、地震調査研究推進本部(2013)⁽⁴⁵⁾では、M8.2の地震を日本海溝の東または西に想定しており、M8.2の地震を日本海溝西側に想定することが考えられるが、その場合でも上記影響を上回らない。

上記の地震タイプの想定位置及び想定のプロローを図6-1(2)~(7)に、地震タイプ毎の想定と評価方法を表6-1に示す。評価は、敷地への影響の程度を踏まえ、断層モデルを用いた手法による評価または敷地の観測記録を用いた検討による評価により行った。観測記録を用いた検討では、地震規模や想定位置(震源距離)の違いについて、応答スペクトルの比率を距離減衰式で算定し観測記録に乗じた。影響検討を行った結果を図6-2に示す。これらより、敷地への影響が最も大きい二重深発地震面上面の地震の2011年4月7日宮城県沖型地震を検討用地震として選定した。

(3) 内陸地殻内地震

図3-1に示す敷地周辺における主な活断層の諸元及びこれらの活断層に想定する地震の諸元を表6-2に示す。また、既往文献の連動評価の状況、過去の地震の発生状況及び断層分布の幾何学的配置状況等を踏まえ、連動を考慮する活断層群による地震の諸元を表6-3に、分布図を図6-3に示す。

内陸地殻内地震の検討用地震は、過去の被害地震、震源として想定する活断層による地震及び連動を考慮する活断層群による地震からそれぞれ抽出した地震を比較検討し、敷地への影響が最も大きい地震を選定する。

内陸地殻内で発生した被害地震の中から、敷地周辺で震度V程度と推定される1900年宮城県北部の地震及び同地震よりも地震規模が小さいものの敷地に最も近い2003年宮城県中部の地震(M6.4)(敷地周辺では震度4程度)を検討用地震の選定のために抽出した。さらに、表6-2の活断層による地震及び表6-3の連動を考慮する活断層群による地震の中から、地震規模と等価震源距離の関係から検討用地震の選定のための地震をそれぞれ抽出した。これら抽出した地震を表6-4に、Noda et al. (2002)⁽⁵²⁾の手法による応答スペクトルの比較を図6

ー4に示す。

これによれば、内陸地殻内地震として敷地に対する影響が最も大きい地震は、F-6断層～F-9断層による地震(M7.1)及びF-12断層～F-14断層と仙台湾北部の南傾斜の仮想震源断層の連動を考慮した断層(以下「仙台湾の断層群」という。)による地震(M7.6)である。

したがって、内陸地殻内地震の検討用地震として、F-6断層～F-9断層による地震及び仙台湾の断層群による地震を選定した。

6.2.2 検討用地震の地震動評価

選定した検討用地震について、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価により、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動評価を行う。

応答スペクトルに基づく地震動評価は、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを予測し、敷地の特性等を適切に反映することが可能な方法を用いる。

(1) プレート間地震

a. 2011年東北地方太平洋沖型地震の基本ケース

2011年東北地方太平洋沖地震では強震動シミュレーション解析が実施され、複数の断層モデルが提案されている⁽³⁹⁾⁽⁵³⁾⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾。このうち、諸井ほか(2013)は、2011年東北地方太平洋沖地震と同じ M_w 9.0の地震について、同地震発生前の先験情報に基づき、過去に発生したプレート間地震の震源域等も参考に震源をモデル化している。

敷地では、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録が得られていることから、地域性を考慮して強震動生成域の応力降下量を1.4倍とした諸井ほか(2013)を用いたシミュレーション解析結果と観測記録との比較を行い、整合性を確認した。

なお、シミュレーション解析には統計的グリーン関数法を用い、放射特性係数は、評価地点と断層面との幾何学的関係等を考慮した地震調査研究推進本部(2005)の宮城県沖地震に関する検討を踏まえ一定値を採用した。

このことから、2011年東北地方太平洋沖型地震の基本ケースの断層モデルとして諸井ほか(2013)を設定した。

基本ケースの断層パラメータ設定フローを図6-5(1)に、設定した断層パラメータを表6-5に、断層モデル図を図6-5(2)に示す。

b. 不確かさを考慮したケースの設定

地震動評価に与える影響が大きい主要なパラメータである地震規模、応力降下量(短周期レベル)、強震動生成域の位置及び破壊開始点について整理

を行ったうえで不確かさを考慮したケースの設定を行う。

(a) 地震規模

「4.1 プレート間地震」に示すとおり、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域は、宮城県沖を含む三陸沖中部から茨城県沖にかけて過去のM7～8クラスのプレート間地震の震源域を包含している。

ここで、2011年東北地方太平洋沖地震の特徴として、地震波の短周期成分を放出する強震動生成域と長周期成分を放出するすべりの大きな領域は異なることが指摘されている⁽⁵⁹⁾。また、強震動波形の分析⁽⁶⁰⁾等から、敷地に対して最も近い強震動生成域の影響が大きいと考えられる。さらに、観測記録の距離減衰式から求められる地震規模は M_w 8.2～8.3程度とされている⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾。

仮に2011年東北地方太平洋沖地震の震源領域が拡がり、地震規模がさらに大きくなったとしても、前面海域の宮城県沖の強震動生成域による影響が支配的であるため、遠方の領域の拡がりや敷地へ与える影響は小さい。

以上より、基本ケースで既往最大の地震規模を考慮していることから、不確かさはあらかじめ考慮されている。

(b) 応力降下量（短周期レベル）

上記(1)a.の2011年東北地方太平洋沖地震の強震動シミュレーション解析による宮城県沖の強震動生成域の応力降下量は、各モデルにより面積は異なるが、16～39.77MPaとなっている⁽³⁹⁾⁽⁵³⁾⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾。短周期レベルは、応力降下量に加え強震動生成域の面積の大きさによっても左右されることから、基本的には両者は関連させて考慮すべきものである。しかし、不確かさとして、宮城県沖の強震動生成域の面積を各モデルの中で最大のまま据え置き、応力降下量を提案されている震源モデルの中で最大である佐藤(2012)と同等となるように基本ケースから1.14倍（諸井ほか(2013)の1.6倍）に割り増すこととした。過去に発生した宮城県沖のプレート間地震では、面積の小さな強震動生成域に大きな応力降下量が考慮されているが⁽³²⁾⁽⁶³⁾、これらはアスペリティの階層構造⁽⁶⁴⁾として整理される。なお、不確かさとして考慮した応力降下量は、他地域で想定されている巨大地震⁽⁶¹⁾と比べても大きい傾向を示すことを確認している。

(c) 強震動生成域の位置

基本ケースの強震動生成域の位置は、2011年東北地方太平洋沖地震や過去に繰り返し発生している宮城県沖地震の強震動生成域を含み、また、敷地に対し影響が大きい位置であるが、さらに保守的な評価として強震動生成域を敷地に対して最も近い位置に設定したケースを不確かさとして考慮した。

(d) 破壊開始点

破壊開始点は、破壊が敷地に向かう位置に設定した場合が最も影響が大きい傾向にあることから、基本ケースで不確かさはあらかじめ考慮されている。

(a)～(d)を踏まえ考慮した不確かさケースを表 6-6 に示す。応力降下量（短周期レベル）の不確かさとして基本ケースから 1.14 倍に割り増しをした「不確かさケース 1」を設定した。さらに、応力降下量（短周期レベル）の不確かさに強震動生成域の位置の不確かさを重畳し、上記の応力降下量（短周期レベル）の割り増しに加え強震動生成域を敷地に近づけた「不確かさケース 2」を設定した。

不確かさケースとして設定した断層パラメータを表 6-7 に、断層モデルを図 6-5(2)及び図 6-6 に示す。

c. 応答スペクトルに基づく地震動評価

2011 年東北地方太平洋沖地震の各地で観測された揺れは、地震動的には M8 前半の規模を適用した距離減衰式と整合することが指摘されており⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾、具体的にどのような規模を当てはめるかや周波数特性等、地震規模と距離減衰式の適用に関しては課題がある。一方、敷地では 2011 年東北地方太平洋沖地震の観測記録が得られていることから、2011 年東北地方太平洋沖型地震の応答スペクトルに基づく地震動評価として、この観測記録に基づく地震動を設定した。具体的には、2011 年東北地方太平洋沖地震の敷地自由地盤の岩盤上部における観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波を包絡する応答スペクトルを設定した。

応答スペクトルに基づく地震動評価結果を図 6-7 に示す。

d. 断層モデルを用いた手法による地震動評価

2011 年東北地方太平洋沖型地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、2011 年東北地方太平洋沖地震の敷地での観測記録との整合性を確認した統計的グリーン関数法を用いて行った。

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果について、基本ケースを図 6-8 に、不確かさケース 1 を図 6-9 に、不確かさケース 2 を図 6-10 に示す。

e. 地震調査研究推進本部（2019）⁽²⁹⁾の知見

地震調査研究推進本部（2019）では、岩手県沖南部から茨城県沖にかけての領域で M9.0 程度の超巨大地震（東北地方太平洋沖型）や宮城県沖の領域で M7.9 程度のプレート間巨大地震を想定している。プレート間地震の検討用地震は、地震調査研究推進本部（2019）の想定を包含しており、検討用地震の地震動評価への影響はない。

(2) 海洋プレート内地震

a. 2011年4月7日宮城県沖型地震の基本ケース

2011年4月7日宮城県沖の地震については、原田・釜江（2011）⁽⁶⁵⁾の強震動シミュレーション解析を参考に断層モデルを設定して統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析を行い、敷地における観測記録と整合することを確認した。断層モデルの深さ及び断層幅は東北大学（2011）⁽⁶⁶⁾を参考に設定し、破壊開始点は原田・釜江（2011）と同じとした。

基本ケースの設定は、2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを踏まえたものとした。断層の位置は、2011年4月7日宮城県沖の地震の断層位置及び傾斜角が敷地に対して厳しい位置であることから、2011年4月7日宮城県沖の地震が発生した海洋性マントル内に設定した。「4.2 海洋プレート内地震」に示すとおり、2011年4月7日宮城県沖の地震は、余震の発生状況と震源域の詳細な速度構造推定結果から、海洋性マントル最上層の低速度域内で発生したとされており⁽²⁷⁾、この低速度域は震源域の北側にも広がっている。また、GPSデータに基づく Ohta et al.（2011）⁽⁴⁷⁾の検討では、同地震の破壊開始点は海洋プレート内の応力中立面付近に位置し、震源域は応力中立面を大きく超えて拡大していないことが示されている。これらの特徴も考慮し、シミュレーションモデルの北側に断層を拡張して地震規模はM7.5として評価した。

また、2011年4月7日宮城県沖の地震の短周期レベルは、東北地方の二重深発地震面上面の地震として最も大きいことから⁽⁴⁶⁾⁽⁵⁶⁾、基本ケースでは2011年4月7日宮城県沖の地震の地震モーメントと短周期レベルの関係相当の短周期レベル（地震調査研究推進本部（2017）の1.5倍）を考慮した。破壊開始点は、破壊が敷地に向かう位置に複数設定した。

基本ケースの断層パラメータ設定フローを図6-11(1)に、設定した断層パラメータを表6-8に、断層モデル図を図6-11(2)に示す。

b. 不確かさを考慮したケースの設定

地震動評価に与える影響が大きい主要なパラメータである地震規模、断層の位置、短周期レベル（応力降下量）、強震動生成域の位置及び破壊開始点について整理を行ったうえで不確かさを考慮したケースの設定を行った。

(a) 地震規模

地震規模は、不確かさをあらかじめ基本ケースに考慮することとし、過去の東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内地震の最大規模（M7.3）を上回る規模としてM7.5を設定した。また、この設定は、北海道と東北地方では海洋プレート内地震の発生機構や地震テクトニクスに違いはあるものの、沈み込んだ海洋プレート内地震として最大規模の1993年釧路沖地震（M7.5）と同規模である。

(b) 断層の位置

基本ケースでは、2011年4月7日宮城県沖の地震の断層位置及び低速度域の北側への拡がりを考慮し、2011年4月7日宮城県沖の地震が発生した海洋性マントル内に設定している。断層位置の不確かさとして、破壊領域がさらに敷地に近くなるように海洋性マントルを超えて海洋地殻内へ断層面を拡げることを考慮した。

(c) 短周期レベル（応力降下量）

2011年4月7日宮城県沖の地震の短周期レベルが東北地方で発生した二重深発地震面上面の地震として最も大きい値であることから、保守的に2011年4月7日宮城県沖の地震に相当する短周期レベルを基本ケースの不確かさとしてあらかじめ考慮した。また、北海道の海洋プレートでは、海洋性マントルの応力降下量は、海洋地殻より大きく、東北地方の太平洋プレートでも同様の傾向があることが知られている⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁹⁾ことから、強震動生成域を海洋地殻に設定する場合は、海洋地殻と海洋性マントルの物性の違い⁽³²⁾⁽⁴¹⁾⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁹⁾⁽⁷⁰⁾を踏まえた設定とする。

(d) 強震動生成域の位置

基本ケースでは、2011年4月7日の宮城県沖の地震の強震動生成域の位置を踏襲し、北側の低速度域の拡がりを考慮した拡張部分の強震動生成域は保守的に断層上端に設定した。不確かさとしては、全ての強震動生成域を断層上端に設定するケース、さらに強震動生成域を集約するケースを考慮した。

(e) 破壊開始点

破壊開始点は、最も影響が大きい傾向となる破壊が敷地に向かう位置に設定した。

(a)～(e)を踏まえ考慮した不確かさケースを表6-9に示す。強震動生成域の位置の不確かさとして、2011年4月7日宮城県沖の地震で確認された強震動生成域を敷地に近づけた「不確かさケース1」を設定した。不確かさケース1の断層パラメータ設定フローを図6-11(1)に、設定した断層パラメータを表6-8に、断層モデルを図6-12に示す。

断層位置の不確かさとして、2011年4月7日宮城県沖の地震は海洋プレート内の海洋性マントル内に留まった地震であったものの、敷地に近づくよう海洋地殻内に断層面を延長し、さらに強震動生成域を2つに集約して配置した「不確かさケース2」を設定した。不確かさケース2の断層パラメータ設定フローを図6-13(1)に、設定した断層パラメータを表6-10に、断層モデルを図6-13(2)に示す。

不確かさケース1及び2では、破壊開始点を破壊が敷地に向かう位置に複数設定した。

さらに、強震動生成域の位置の不確かさとして、海洋性マントル内で強震動生成域を2つに集約した「不確かさケース3」を設定した。不確かさケース3の断層パラメータ設定フローを図6-14(1)に、設定した断層パラメータを表6-11に、断層モデルを図6-14(2)に示す。破壊開始点は、敷地への影響が最も大きいと考えられる破壊が敷地に向かう断層下端の中央に設定した。

なお、いずれの不確かさケースも、敷地への影響が大きくなるよう強震動生成域は敷地に近い断層上端に配置した。

c. 応答スペクトルに基づく地震動評価

2011年4月7日宮城県沖型地震の応答スペクトルに基づく地震動評価は、海洋プレート内で発生する地震は同程度の規模のプレート間地震や内陸地殻内地震に比べて短周期成分が卓越することが知られている⁽⁷²⁾ことから、Noda et al. (2002)の方法に基づく応答スペクトルに対する敷地で得られた海洋プレート内地震の観測記録の応答スペクトル比をNoda et al. (2002)に対する補正係数として考慮して行った。

応答スペクトルに基づく地震動評価結果を図6-15に示す。

d. 断層モデルを用いた手法による地震動評価

2011年4月7日宮城県沖型地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、海洋性マントル内に強震動生成域を設定した基本ケース、不確かさケース1及びケース3については、2011年4月7日宮城県沖の地震の敷地での観測記録との整合性を確認した統計的グリーン関数法を用いた。放射特性係数は、地震調査研究推進本部(2005)を参考に、宮城県沖のプレート間地震と同様に一定値とした。強震動生成域を海洋地殻に設定した不確かさケース2については、海洋地殻の地震動特性が反映できるように経験的グリーン関数法⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾を用いた。要素地震は、敷地周辺で観測された海洋プレート内地震のうち、強震動生成域に近く、震源メカニズムが逆断層型の2012年3月30日の宮城県沖の地震(M4.6)とした。要素地震の震央位置と発震機構を図6-16に示す。

2011年4月7日宮城県沖型地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果について、基本ケースを図6-17に、不確かさケース1を図6-18に、不確かさケース2を図6-19に、不確かさケース3を図6-20に示す。

e. 地震調査研究推進本部(2019)の知見

地震調査研究推進本部(2019)では、沈み込んだ海洋プレート内地震としてM7.0~7.5程度の地震を想定している。海洋プレート内地震の検討用地震は、地震調査研究推進本部(2019)の想定を包含しており、検討用地震の地震動評価への影響はない。また、地震調査研究推進本部(2019)では、海溝軸外側の海洋プレート内地震としてM8.2前後の地震を想定しているものの、

「6.2.1 検討用地震の選定 (2) 海洋プレート内地震」で示すように、検討用地震として選定した 2011 年 4 月 7 日宮城県沖型地震の影響を上回るものとはならない。

(3) 内陸地殻内地震

a. 基本ケース

(a) F-6 断層～F-9 断層による地震

F-6 断層～F-9 断層の断層長さは 23.7km、傾斜角は 90 度ないし高角の東落ちと推定されている。

敷地が位置する東北地方の活断層は逆断層が卓越することを踏まえ、F-6 断層～F-9 断層による地震の基本ケースは、地震調査研究推進本部(2017)を参考に、断層長さは 23.7km、断層傾斜角は西傾斜 60° の逆断層とした。また、金華山付近では、2011 年東北地方太平洋沖地震の余震と考えられる地震が深さ 20km 付近で発生している。この微小地震の拡がりは限定的であり、また、F-6 断層～F-9 断層との位置的な関係も不明確であるが、これらの影響を F-6 断層～F-9 断層の地震動評価に反映した。具体的には、地震発生層の下限は深さ 15km と考えられるものの、F-6 断層～F-9 断層の地震発生層下端を微小地震の発生状況を踏まえ深さ 22km に設定した。また、基本ケースのアスペリティの位置については、F-9 断層、F-7 断層及び F-8 断層・f-12 断層が比較的密に分布する位置に大きなアスペリティを、敷地に近い F-6 断層の位置に小さなアスペリティを配置することとし、それぞれ敷地に近い断層上端に設定した。さらに、破壊開始点についても、断層の破壊が敷地に向かう位置に複数設定した。

地震調査研究推進本部(2017)に基づく基本ケースの断層パラメータ設定フローを図 6-21(1)に、設定した断層パラメータを表 6-12 に、断層モデルを図 6-21(2)に示す。

(b) 仙台湾の断層群による地震

F-12 断層～F-14 断層の傾斜角は、90° ないし高角と推定されており、敷地が位置する東北地方の活断層は逆断層が卓越することを踏まえ、地震調査研究推進本部(2017)を参考に西傾斜 60° と設定した。仙台湾北部の南傾斜の仮想震源断層における傾斜角についても、F-12 断層～F-14 断層と同様に 60° と設定した。アスペリティ位置については、安全側の評価となるようにそれぞれの断層の敷地に近い断層上端に設定した。さらに、破壊開始点は断層の破壊が敷地に向かう位置に複数設定した。

仮想震源断層との連動を考慮していること、アスペリティを敷地に近い位置に集中して配置していることから、地震規模及びアスペリティ位置の不確かさはあらかじめ基本ケースで考慮している。

地震調査研究推進本部（2017）に基づく基本ケースの断層パラメータ設定フローを図 6-22(1)に、設定した断層パラメータを表 6-13 に、断層モデルを図 6-22(2)に示す。

b. 不確かさを考慮したケースの設定

F-6 断層～F-9 断層による地震及び仙台湾の断層群による地震に考慮した不確かさケースを表 6-14 に示す。

F-6 断層～F-9 断層による地震については、2007 年新潟県中越沖地震における短周期レベル（応力降下量）の知見を踏まえ、応力降下量を 1.5 倍とした「不確かさケース 1」を設定した。

さらに、断層傾斜角の不確かさを考慮して 45 度とし、地震モーメントを大きくした「不確かさケース 2」を設定した。

アスペリティの位置の不確かさを考慮し、アスペリティからの強震動の影響が大きくなるように断層上端の敷地寄りに 1 つに集約した「不確かさケース 3」を設定した。

それぞれの不確かさケースにおいて、破壊開始点は断層の破壊が敷地に向かう位置に複数設定した。

仙台湾の断層群による地震については、2007 年新潟県中越沖地震における短周期レベル（応力降下量）の知見を踏まえ、応力降下量を 1.5 倍とした「不確かさケース 1」を設定した。破壊開始点は断層の破壊が敷地に向かう位置に複数設定した。

地震調査研究推進本部（2017）に基づく不確かさを考慮した各ケースの断層パラメータを表 6-15～表 6-18 に、断層モデルを図 6-21(2)、図 6-22(2)～図 6-24 に示す。

c. 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価としては、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを予測し、敷地の特性等を適切に反映することが可能な Noda et al. (2002) の方法を用いた。応答スペクトルに基づく F-6 断層～F-9 断層による地震の地震動評価結果を図 6-25 に示す。仙台湾の断層群による地震の地震動評価結果を図 6-26 に示す。

d. 断層モデルを用いた手法による地震動評価

F-6 断層～F-9 断層による地震については、短周期側を統計的グリーン関数法とし、長周期側に理論的手法を用いたハイブリッド合成法を採用した。長周期域の理論計算は、久田 (1997)⁽⁷⁵⁾による波数積分法を用いた。断層モデルを用いた手法による F-6 断層～F-9 断層による地震の地震動評価結果について、基本ケースを図 6-27 に、不確かさケース 1 を図 6-28 に、不確かさケース 2 を図 6-29 に、不確かさケース 3 を図 6-30 に示す。

仙台湾の断層群による地震については、活断層の連動による規模の大きな地震であることを踏まえ、表面波の卓越が地震動評価に反映できるように経験的グリーン関数法⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾⁽⁷⁶⁾を用いた。要素地震は、敷地周辺で観測された内陸地殻内地震のうち、震源メカニズムが類似しており、表面波の卓越がみられる2003年7月26日宮城県中部の地震(M5.5)とする。要素地震の震央位置と発震機構を図6-31に示す。断層モデルを用いた手法による仙台湾の断層群による地震の地震動評価結果について、基本ケースを図6-32に、不確かさケース1を図6-33に示す。

6.3 震源を特定せず策定する地震動

敷地近傍に耐震設計上考慮すべき活断層は存在しないものの、敷地周辺の状況などを十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」を考慮する。

6.3.1 評価方法

震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震を検討対象地震として選定し、それらの地震時に得られた震源近傍における観測記録を収集し、敷地の地盤物性を踏まえた応答スペクトルを設定する。

6.3.2 既往の知見

加藤ほか(2004)⁽⁷⁷⁾は、内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模をあらかじめ特定できない地震による震源近傍の硬質地盤上の強震記録を用いて、震源を事前に特定できない地震による地震動の上限スペクトルを設定している。加藤ほか(2004)による応答スペクトルに対し、Noda et al.(2002)の方法による地盤増幅特性を用いて敷地の地盤物性を考慮した応答スペクトルを図6-34に示す。

6.3.3 検討対象地震の選定と震源近傍の観測記録の収集

震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震の震源近傍の観測記録の収集においては、以下の2種類の地震を対象とした。

- ・震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層として、その全容を表すまでには至っていない M_w 6.5以上の地震。
- ・断層破壊領域が地震発生層内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通で考慮すべき M_w 6.5未満の地震。

検討対象地震を表6-19に示す。

(1) M_w 6.5以上の地震

表6-19に示した検討対象地震のうち、 M_w 6.5以上の2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震の震源域と敷地周辺との地域差を検討し、観測記録収集対象の要否について検討を行う。

a. 2008年岩手・宮城内陸地震

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域近傍は、新第三系～第四系の火山岩及び堆積岩が厚く堆積し、中新世以降に形成された褶曲及び断層が分布する。また、2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は火山フロントに位置し、火山活動

が活発な地域である。さらに、産業技術総合研究所（2009）⁽⁷⁸⁾によるひずみ集中帯分布図によれば、震源近傍は、地質学的・測地学的ひずみ集中帯の領域内にある。

一方、敷地周辺は、硬質な中・古生界の砂岩及び頁岩を主とする堆積岩類が褶曲構造による繰り返しを伴いながら広く分布し、変動地形の疑いのあるリニアメント等は認められていない。また、敷地は火山フロントの東側（前弧側）の地域に位置し第四紀の火山活動などは知られておらず、ひずみ集中帯からも外れた地域に位置している。

以上のことから、敷地周辺地域は、2008年岩手・宮城内陸地震の震源域とは、火山地域の地質・地質構造、活断層・リニアメントの分布状況及びひずみ集中帯との関係に違いが認められ、地質学的・測地学的背景が異なることから、2008年岩手・宮城内陸地震は観測記録収集の対象外とした。

b. 2000年鳥取県西部地震

2000年鳥取県西部地震の震源域は、地形地質上、安定隆起とされ、松田・吉川(2001)⁽⁷⁹⁾によれば、地震地体構造としては島弧の内帯に位置する。当該地域は、断層数及び断層の分布密度が大きい内帯のなかではそれらは比較的少なく、これに対し地震活動は高い傾向にある。また、震源域付近の地質・地質構造は、主に古第三系の花崗岩及び貫入岩体として新第三系中新統の安山岩～玄武岩質の岩脈が分布している。

2000年鳥取県西部地震が発生した山陰地域について、岡田(2002)⁽⁸⁰⁾は、第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階としている。また、高田ほか(2003)⁽⁸¹⁾では、リニアメントの集中がみられる地域とされている。

一方、敷地周辺の地震地体構造は、地形地質上、外弧隆起帯、安定域とされており、島弧の外帯に位置するため、内帯と比較し、地震活動が著しく少なく、断層数が少なく、地震・断層の分布密度も低いとされている。また、敷地周辺には、中・古生界の堆積岩が広く分布し、その地質構造は白亜紀前期に形成されたと理解されている。牡鹿半島を含む北上山地南部には活断層がみられず、変動地形の疑いのあるリニアメント等は認められない。

以上のことから、敷地周辺地域は、2000年鳥取県西部地震の震源域とは地質・地質構造、活断層・リニアメントの分布状況及び成熟度に違いが認められ、地質学的背景が異なることから、2000年鳥取県西部地震は観測記録収集の対象外とした。

(2) M_w 6.5未満の地震

表6-19に示した検討対象地震のうち、2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震を除いた14地震について、震源近傍の観測記録を収集して、

その地震動レベルを整理した。その結果、加藤ほか(2004)を一部周期帯で上回る地震観測記録として 2004 年北海道留萌支庁南部地震, 2013 年栃木県北部地震, 2011 年茨城県北部地震, 2011 年和歌山県北部地震及び 2011 年長野県北部地震の観測記録を抽出した。

抽出した観測記録のうち, 2013 年栃木県北部地震, 2011 年茨城県北部地震, 2011 年和歌山県北部地震及び 2011 年長野県北部地震については, 信頼性のある地盤モデルが構築できず, はぎとり解析による基盤地震動の評価が困難なことから, 震源を特定せず策定する地震動には考慮しない。

一方, 2004 年北海道留萌支庁南部地震については, 震源近傍の K-NET 港町観測点において, 佐藤ほか(2013)⁽⁸²⁾が詳細な地盤調査に基づいて基盤地震動の推定を行っており, 信頼性の高い基盤地震動が得られている。これらを参考に K-NET 港町観測点の地盤モデルの不確かさ等を踏まえて基盤地震動を評価し, さらに保守性を考慮した。

6.3.4 震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトル

以上の検討を踏まえ, 「震源を特定せず策定する地震動」として, 2004 年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動の応答スペクトルを設定した。「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを図 6-35 に示す。

6.4 基準地震動 S_s の策定

「6.2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「6.3 震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づき、敷地へ及ぼす影響を考慮した上で基準地震動 S_s を策定する。

6.4.1 敷地ごとに震源を特定して策定する基準地震動 S_s

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルは、「6.2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に基づき、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定する。

(1) 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s

プレート間地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果を包絡する応答スペクトルを基準地震動 $S_s - D1$ の設計用応答スペクトル（以下、水平方向を「基準地震動 $S_s - D1 H$ 」，鉛直方向を「基準地震動 $S_s - D1 V$ 」という。）として設定した。基準地震動 $S_s - D1$ のコントロールポイントを表 6-20 に、設計用応答スペクトルを図 6-36 に示す。

また、海洋プレート内地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果のうち、強震動生成域を海洋性マントル内に設定したケースを包絡する応答スペクトルを基準地震動 $S_s - D2$ の設計用応答スペクトル、強震動生成域を海洋地殻に設定したケースを包絡する応答スペクトルを基準地震動 $S_s - D3$ の設計用応答スペクトル（以下、水平方向を「基準地震動 $S_s - D2 H$ 」，「基準地震動 $S_s - D3 H$ 」，鉛直方向を「基準地震動 $S_s - D2 V$ 」，「基準地震動 $S_s - D3 V$ 」という。）として設定した。基準地震動 $S_s - D2$ 及び $S_s - D3$ のコントロールポイントを表 6-21 及び表 6-22 に、設計用応答スペクトルを図 6-37 及び図 6-38 に示す。

なお、図 6-39 に示すとおり、内陸地殻内地震の検討用地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果は、基準地震動 $S_s - D1$ ， $S_s - D2$ 及び $S_s - D3$ に包絡される。

(2) 断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s

プレート間地震、海洋プレート内地震及び内陸地殻内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を図 6-40～図 6-43 に示す。このうちプレート間地震については、基準地震動 $S_s - D1$ を上回る 2 ケースを基準地震動 $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ として選定した（以下、水平方向を「基準地震動 $S_s - F1 H$ 」，「基準地震動 $S_s - F2 H$ 」，鉛直方向を「基準地震動 $S_s - F1 V$ 」，「基準地震動 $S_s - F2 V$ 」という。）。

また、海洋プレート内地震の強震動生成域を海洋性マントルに設定したケースについては、時刻歴波形の主要動の継続時間等の特性を考慮し不確かさケース 3 を

基準地震動 $S_s - F3$ として選定した（以下、水平方向を「基準地震動 $S_s - F3H$ 」、鉛直方向を「基準地震動 $S_s - F3V$ 」という。）。

海洋プレート内地震のうち、強震動生成域を海洋地殻に設定したケースについては、図 6-42 に示すとおり、全て基準地震動 $S_s - D3$ に包絡される。

内陸地殻内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、図 6-43 に示すとおり、基準地震動 $S_s - D1$ 、 $S_s - D2$ 及び $S_s - D3$ に包絡される。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に基づく基準地震動 S_s の応答スペクトルを図 6-44 に示す。

6.4.2 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s

「6.3 震源を特定せず策定する地震動」の地震動評価結果と「6.4.1 敷地ごとに震源を特定して策定する基準地震動 S_s 」の応答スペクトルを図 6-45 に示す。同図より、2004 年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動については、一部の周期で「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に基づく基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルを上回ることから、「震源を特定せず策定する地震動」に基づく基準地震動 $S_s - N1$ として選定した（以下、水平方向を「基準地震動 $S_s - N1H$ 」、鉛直方向を「基準地震動 $S_s - N1V$ 」という。）。

6.4.3 基準地震動 S_s の時刻歴波形

基準地震動 $S_s - D1$ 、 $S_s - D2$ 及び $S_s - D3$ の時刻歴波形は、それぞれの設計用応答スペクトルに適合するような周波数-振幅特性と、一様乱数の位相特性を持つ正弦波の重ね合わせによって作成する模擬地震波とし、振幅包絡線の経時的变化については、Noda et al. (2002) に基づき、表 6-23 に示す形状とした。

基準地震動 $S_s - D1$ の模擬地震波（以下、水平方向を「模擬地震波 $S_s - D1H$ 」、鉛直方向を「模擬地震波 $S_s - D1V$ 」という。）、基準地震動 $S_s - D2$ の模擬地震波（以下、水平方向を「模擬地震波 $S_s - D2H$ 」、鉛直方向を「模擬地震波 $S_s - D2V$ 」という。）及び $S_s - D3$ の模擬地震波（以下、水平方向を「模擬地震波 $S_s - D3H$ 」、鉛直方向を「模擬地震波 $S_s - D3V$ 」という。）の作成結果を表 6-24 に示す。また、基準地震動 $S_s - D1$ 、 $S_s - D2$ 及び $S_s - D3$ の設計用応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトルの比を図 6-46～図 6-48 に示す。

以上により策定した、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 $S_s - D1$ 、 $S_s - D2$ 及び $S_s - D3$ の模擬地震波を図 6-49～図 6-51 に、断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ 及び $S_s - F3$ の時刻歴波形を図 6-52～図 6-54 に、震源を特定せず策定する地震動による基準地震

動 $S_s - N1$ の時刻歴波形を図 6-55 に示す。

また、基準地震動 S_s の応答スペクトルを図 6-56 に、最大加速度を表 6-25 に示す。

6.5 基準地震動 S_s の超過確率の参照

日本原子力学会（2015）⁽⁸³⁾の方法に基づいて算定した敷地における地震動の一樣ハザードスペクトルと基準地震動 S_s の応答スペクトルを比較する。

(1) 震源モデルの設定

震源モデルとして、以下に示す特定震源モデルと領域震源モデルを設定した。

a. 特定震源モデル

(a) 海溝型地震

地震調査研究推進本部（2013）を参考に、東北地方太平洋沖型地震と宮城県沖地震を特定地震として評価した。東北地方太平洋沖型地震の震源モデルの諸元は、神田ほか（2012）、Asano and Iwata（2012）及び諸井ほか（2013）に基づき設定し、発生確率は地震調査研究推進本部（2013）を適用した。また、宮城県沖地震の震源モデルの諸元は地震調査研究推進本部（2005）に基づき設定し、発生確率は地震調査研究推進本部（2013）を適用した。設定した震源モデルの諸元を表 6-26 に示す。

(b) 内陸地殻内地震

敷地から 100km 程度以内にある「[新編]日本の活断層」に掲載されている確実度 I 及び II の活断層及び敷地周辺の地質調査結果に基づいて評価した活断層等を特定震源としてモデル化し、これらの断層群の連動も考慮した。震源モデルの諸元を表 6-27 に示す。

b. 領域震源モデル

敷地から 100km 以内の領域をモデル化する。地震調査研究推進本部（2013）では、領域震源モデルに基づく評価に用いる各領域の地震規模の設定にあたり、「モデル 1」及び「モデル 2」の 2 つの考え方を示している。「モデル 1」は従来の長期評価を基本としたモデルであり、「モデル 2」は地震活動度の不確実性を大きくとるなどの検討を加えたモデルである。そこで、領域区分及び対象領域の最大マグニチュードについて地震調査研究推進本部（2013）を参考にモデル化した。設定した領域区分と最大マグニチュードを図 6-57 に示す。

(2) 地震動伝播モデルの設定

東北地方太平洋沖型地震については、Noda et al.（2002）の方法及び断層モデル手法による評価を実施した。その他の震源については、Noda et al.（2002）の方法を用い、観測記録に基づいた補正または、内陸補正を考慮した。

(3) ロジックツリーの作成

震源モデル及び地震動伝播モデルにおいて設定した各モデル及び認識論的不確かさ要因について、地震調査研究推進本部（2012c）⁽⁸⁴⁾等を参考にロジックツリーに展開した。作成したロジックツリーを図 6-58 に示す。

(4) 確率論的地震ハザード評価結果

上記により評価した平均地震ハザード曲線を図6-59に示す。また、震源別ハザード曲線を図6-60に示す。年超過確率 10^{-4} 程度まではプレート間地震の特定震源が支配的であり、年超過確率が 10^{-5} 程度より低い範囲では海洋プレート内地震の領域震源が支配的である。

一様ハザードスペクトルと応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 $S_s-D1 \sim S_s-D3$ 及び断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s-F1 \sim S_s-F3$ との比較を図6-61に示す。

短周期側で最も大きい基準地震動 S_s-D2 の応答スペクトルは短周期側で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ の一様ハザードスペクトル程度であり、長周期側で最も大きい基準地震動 S_s-D1 の応答スペクトルは周期1秒より長周期では 10^{-6} の一様ハザードスペクトルを超えている。また、基準地震動 $S_s-F1, F2$ は、基準地震動 S_s-D1 を超過する帯域において 10^{-6} の一様ハザードスペクトルを超えている。また、基準地震動 S_s-F3 は基準地震動 S_s-D2 に包絡されており、短周期側では概ね 10^{-4} の一様ハザードスペクトル程度である。

また、内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 S_s-N1 との比較を図6-62に示す。基準地震動 S_s-N1 の応答スペクトルは、水平方向の周期0.2~2秒付近では 10^{-7} の一様ハザードスペクトルを超え、その他の周期帯では $10^{-5} \sim 10^{-7}$ の一様ハザードスペクトル程度である。また、鉛直方向では全周期帯で $10^{-4} \sim 10^{-7}$ の一様ハザードスペクトル程度である。

7. 弾性設計用地震動 S_d

7.1 設定根拠

弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率が目安として 0.5 を下回らないよう基準地震動 S_s に係数を乗じて設定する。ここで、係数は工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が 0.5 程度であるという知見⁽⁸⁸⁾を踏まえ、さらに、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定，平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）」における基準地震動 S_1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮した値とする。具体的には、 $S_s - F1 \sim F3$ 及び $S_s - N1$ は係数 0.5 を乗じた地震動、応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動 $S_s - D1 \sim D3$ は係数 0.58 を乗じた地震動を弾性設計用地震動 S_d として設定する。

また、建物・構築物及び機器・配管系ともに係数 0.5 又は 0.58 を採用することで、弾性設計用地震動 S_d に対する設計に一貫性をとる。弾性設計用地震動 S_d の年超過確率は短周期側で $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 程度，長周期側で $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度である。弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを図 7-1 に、弾性設計用地震動 S_d の加速度時刻歴波形を図 7-2～図 7-8 に、弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_1 の応答スペクトルの比較を図 7-9 に、弾性設計用地震動 S_d と解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較を図 7-10 に示す。

7.2 安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率について

安全機能限界に対応する入力荷重と弾性限界に対応する入力荷重の比率としての α は、日本電気協会⁽⁸⁸⁾を参照して評価する。日本電気協会には、鉄筋コンクリート造壁式構造の建屋を2質点系の簡易なSRモデルに置換し、入力地震動を 100cm/s^2 ずつ順次増加して非線形地震応答解析を行って求められたせん断ひずみと層せん断力係数の関係を示した図があり、この図に許容限界①及び許容限界②を加筆したものを図7-11に示す。ここで、許容限界②は、建屋はある程度の損傷を受けるがその程度は小さく、終局に対して余裕のある基準地震動 S_s の許容限界（せん断ひずみ度で 2.0×10^{-3} ）を示しており、許容限界①は許容限界②の入力加速度を $1/2$ 倍とした場合の応答値を示している。

許容限界①の応答値は短期許容応力度相当と考えられ、設置許可基準別記2でいう弾性設計用地震動 S_d に求められる「おおむね弾性範囲の設計」と考えられる。

以上より、許容限界①を弾性限界、許容限界②を安全機能限界と捉えた場合、安全機能限界に対応する入力荷重と弾性限界に対応する入力荷重の比率としての α は0.5程度の値となる。

8. 参考文献

- (1) 地震調査研究推進本部 (2009a) : 日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－, 第2版
- (2) 文部省震災予防評議会編 (1941～1943) : 増訂 大日本地震史料, 第一巻～第三巻
- (3) 武者金吉 (1951) : 日本地震史料, 毎日新聞社
- (4) 東京大学地震研究所編 (1981～1994) : 新収 日本地震史料, 第一巻～第五巻, 補遺, 続補遺
- (5) 宇佐美龍夫 (1998～2005) : 日本の歴史地震史料, 拾遺, 拾遺別巻, 拾遺二, 拾遺三
- (6) 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子 (2013) : 日本被害地震総覧 599－2012, 東京大学出版会
- (7) 宇津徳治 (1999) : 地震活動総説, 東京大学出版会
- (8) 国立天文台編 (2017) : 理科年表 平成30年, 丸善
- (9) 気象庁 (1951～2017) : 地震月報ほか
- (10) 気象庁 (2012) : 気象庁技術報告 第133号 平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震調査報告
- (11) 国際地震工学センター (2013) : 世界の被害地震の表
- (12) Kanamori, H. (1977) : The Energy Release in Great Earthquakes, J. Geophys. Vol. 82
- (13) 中央防災会議 (2006) : 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告
- (14) Kikuchi, M. and H. Kanamori (1995) : The Shikotan Earthquake of October 4, 1994: Lithospheric earthquake, Geophysical Research Letters, vol.22, No9
- (15) 地震調査研究推進本部 (2012a) : 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価 (第二版) について
- (16) 活断層研究会編 (1991) : [新編] 日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会
- (17) 地震調査研究推進本部 (2009b) : 全国地震動予測地図
- (18) 気象庁 (2005) : 平成17年8月 地震・火山月報 (防災編)
- (19) 村松郁栄 (1969) : 震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号
- (20) 勝又護, 徳永規一 (1971) : 震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻
- (21) 神田克久, 武村雅之, 広谷浄, 石川和也 (2012) : 震度分布に基づく2011年東

北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域，地震第 2 輯，第 65 卷

- (22) Koper, K. D., A. R. Hutko, T. Lay, C. J. Ammon, and H. Kanamori (2011) : Frequency-dependent rupture process of the 2011 M_w 9.0 Tohoku earthquake: Comparison of short-period P wave backprojection images and broadband seismic rupture models, Earth Planets Space, 63
- (23) 海野徳仁, 長谷川昭, 高木章雄, 鈴木貞臣, 本谷義信, 亀谷悟, 田中和夫, 澤田義博 (1984) : 北海道及び東北地方における稍深発地震の発震機構－広域の験震データの併合処理－, 地震 第 2 輯, 第 37 卷
- (24) Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima and T. Matsuzawa (2010) : Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, Tectonophysics, 496
- (25) 長谷川昭, 中島淳一, 内田直希, 梁田高広, 岡田知己, 趙大鵬, 松澤暢, 海野徳仁 (2012) : 沈み込み帯の地震の発生機構－地殻流体に規定されて発生する沈み込み帯の地震－, 地学雑誌, Vol.121 (1)
- (26) 気象庁 (2011) : 平成 23 年 4 月 地震・火山月報 (防災編)
- (27) Nakajima, J., A. Hasegawa, and S. Kita (2011) : Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M 9.0 Tohoku Earthquake, Geophys. Res. Lett., 38, L00G06, doi:10.1029/2011GL048432, 2011
- (28) 地震調査研究推進本部 (2004) : 千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第二版) について
- (29) 地震調査研究推進本部 (2019) : 日本海溝沿いの地震活動の長期評価
- (30) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会 (2002) : 原子力発電所の津波評価技術
- (31) 日本建築学会 (2004) : 2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震災害調査報告
- (32) 地震調査研究推進本部 (2005) : 宮城県沖地震を想定した強震動評価 (一部修正版) について
- (33) 佐藤智美 (2004) : 強震記録に基づく 2003 年宮城県沖の地震の大加速度の成因に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 581 号, 2004 年 5 月
- (34) Irikura, K. (1986) : PREDICTION OF STRONG ACCELERATION MOTIONS USING EMPIRICAL GREEN'S FUNCTION, 第 7 回日本地震工学シンポジウム
- (35) 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子 (1997) : 経験的グリーン関数を用いた強震

動予測方法の改良，日本地震学会講演予稿集

- (36) Boore, D. M. (1983) : Stochastic simulation of highfrequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bulletin of the Seismological Society of America, 73.
- (37) 東北電力株式会社 (2005) : 女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価及び耐震安全性評価について (修正版) 別紙-3 基準地震動の応答スペクトルを超えることとなった要因分析・評価結果について, 2005年12月
- (38) 原子力安全・保安院 (2011) : 東北電力株式会社女川原子力発電所における平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震等の観測記録のはざとり解析について 地震・津波6-4-2
- (39) 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅 (2013) : 標準的な強震動予測レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集
- (40) 防災科学技術研究所 (2012) : 深部地盤モデルデータ V2, 2014年3月17日公開
- (41) 地震調査研究推進本部 (2012b) : 「長周期地震動予測地図」2012年試作版 全国1次地下構造モデル
- (42) 海野徳仁, 岡田知己, 中島淳一, 堀修一郎, 河野俊夫, 中山貴史, 内田直希, 清水淳平, 菅ノ又淳一, ガマゲシヤンタ, 仁田交市, 矢部康男, 迫田浩司, 佐藤凡子, 伊藤実, 長谷川昭, 浅野陽一, 長谷見晶子, 出町知嗣, 矢島良紀 (2004) : 余震観測から推定した2003年7月26日宮城県北部地震(M6.4)の余震の震源とメカニズム解の分布, 地震 第2輯, 第56巻
- (43) 伊藤亜妃, 日野亮太, 西野実, 藤本博巳, 三浦誠一, 小平秀一, 長谷見晶子 (2002) : エアガン人工地震探査による東北日本前弧域の地殻深部構造, 地震 第2輯, 54巻
- (44) 地震調査研究推進本部 (2017) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」)
- (45) 地震調査研究推進本部 (2013) : 今後の地震動ハザード評価に関する検討～2013年における検討結果～
- (46) 佐藤智美 (2013) : 東北地方のアウトターライズ地震, スラブ内地震, プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第689号
- (47) Ohta, Y., S. Miura, M. Ohzono, S. Kita, T. Iinuma, T. Demachi, K. Tachibana, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Suzuki, T. Sato, N. Uchida, A. Hasegawa, N. Umino (2011) : Large intraslab earthquake (2011

- April 7, M7.1) after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M9.0) : Coseismic fault model based on dense GPS network data, *Earth Planets Space*, 63, 1207-1211, 2011.
- (48) 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について, *地震* 第 2 輯, 第 28 卷
- (49) 佐藤良輔編著 (1989) : 日本の地震断層パラメター・ハンドブック, 鹿島出版会
- (50) 今泉俊文・宮内崇裕・堤浩之・中田高編 (2018) : 活断層詳細デジタルマップ [新編]. 東京大学出版会
- (51) 武村雅之 (1990) : 日本列島及びその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, *地震* 第 2 輯, 第 43 卷
- (52) Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
- (53) 川辺秀憲, 釜江克宏 (2013) : 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化, *日本地震工学会論文集*, Vol.13, No.2 (特集号), pp75-87, 2013
- (54) Kurahasi, S. and K. Irikura (2013) : Short-Period Source Model of the 2011 M_w9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol.103, May 2013
- (55) Asano, K. and T. Iwata (2012) : Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, Vol. 64 (No.12), pp.1111-1123, 2012
- (56) 佐藤智美 (2012) : 経験的グリーン関数法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデル—プレート境界地震の短周期レベルに着目して—, *日本建築学会構造系論文集*, 第 77 号, 2012 年 5 月
- (57) 壇一男, 畑奈緒未, 武藤尊彦, 宮腰淳一, 神田順 (2005) : シナリオ地震の生起確率を考慮した基準地震動策定に関する研究 (その 3) 宮城県沖で発生するプレート境界大地震の断層破壊シナリオとそれに基づく強震動の計算, *日本建築学会大会学術講演梗概集*
- (58) 地震調査研究推進本部 (2002) : 宮城県沖地震を想定した強震動評価手法について (中間報告)
- (59) Lay, T., H. Kanamori, C. J. Ammon, K. D. Koper, A. R. Hutko, L. Ye, H. Yue, and T. M. Rushing (2012) : Depth-varying rupture properties of

- subduction zone megathrust faults, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, B04311
- (60) 川辺秀憲, 釜江克弘, 上林宏敏 (2011) : 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデル, 日本建築学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, B22-05
- (61) 内閣府(2012) : 南海トラフの巨大地震による震度分布・波高について (第一次報告)
- (62) 司宏俊, 瀧瀬一起, 三宅弘恵, 翠川三郎 (2011) : 超巨大地震への地震動最大値距離減衰式の適用について—2011 年東北地震と海外の超巨大地震の観測データに基づく検討—, 日本地震学会講演予稿集
- (63) Kamae, Katsuhiko (2006) : Source modeling of the 2005 off-shore Miyagi prefecture, Japan, earthquake (Mjma=7.2) using the empirical Green's function method, *Earth Planets Space*, Vol. 58, pp. 1561-1566, 2006
- (64) Uchida, N and T. Matsuzawa (2011) : Coupling coefficient, hierarchical structure, and earthquake cycle for the source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake inferred from small repeating earthquake data, *Earth Planets Space*, Vol. 63, pp. 675-679, 2011
- (65) 原田怜, 釜江克宏 (2011) : 2011 年 4 月 7 日宮城県沖のスラブ内地震の震源のモデル化 (オンライン), <<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/>>
- (66) 東北大学 (2011) : 東北大学大学院理学研究科, 第 190 回 地震予知連絡会, <<http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/project/yoti/y-zisin/ocep/>>
- (67) 佐藤智美, 巽誉樹 (2002) : 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集 第 556 号
- (68) Saeko Kita and Kei Katsumata (2015) : Stress drops for intermediate-depth intraslab earthquakes beneath Hokkaido, northern Japan: Differences between the subducting oceanic crust and mantle events, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G-Cubed)*, 16, 552-562, 2015.
- (69) 北佐枝子 (2016) : 東北日本下におけるスラブ内地震の応力降下量の深さ変化の特徴, 日本地震学会講演予稿集
- (70) Christensen, N. I. (1996) : Poisson's ratio and crustal seismology, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, No. B2
- (71) J-SHIS (2014) : 防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション (Japan Seismic Hazard Information Station), <<http://www.jshis.bosai.go.jp/>>
- (72) 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明 (2006) : 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集 A, Vol. 62
- (73) 防災科学技術研究所 広帯域地震観測網 F-net :

<http://www.fnet.bosai.go.jp/fnet/top.php?LANG=ja>

- (74) 香川敬生, 鶴久正人, 佐藤信光 (2003) : 硬質サイトの強震観測記録にみられる高周波低減特性の検討, 土木学会地震工学論文集, 523
- (75) 久田嘉章 (1997) : 成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計算法, 日本建築学会構造系論文集, 第 501 号
- (76) 司宏俊, 福士知司, 石川和也, 栗山利男 (2015) : 補正経験的グリーン関数を用いた 2003 年 7 月 26 日 M_w 6.0 宮城県北部の地震の地震動評価, 日本地震学会講演予稿集
- (77) 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大榮, 上田圭一, 壇一男 (2004) : 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル—地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集, 第 4 巻, 第 4 号
- (78) 産業技術総合研究所 (2009) : 地質学的歪みと測地学的歪みの集中域と地震との関係, 地震予知連絡会会報, 第 81 巻
- (79) 松田時彦, 吉川真季 (2001) : 陸域の $M \geq 5$ 地震と活断層の分布関係 —断層と地震の分布関係—その 2, 活断層研究, 20
- (80) 岡田篤正 (2002) : 山陰地方の活断層の諸特徴, 活断層研究, No. 22
- (81) 高田圭太, 中田高, 野原壮, 原口強, 池田安隆, 伊藤潔, 今泉俊文, 大槻憲四郎, 鷺谷威, 堤浩之 (2003) : 震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討—中国地方を事例として—, 活断層研究, No. 23
- (82) 佐藤浩章・芝良昭・功刀卓・前田宜浩・藤原広行 (2013) : 物理探査・室内試験に基づく 2004 年留萌支庁南部地震の地震による K-NET 港町観測点 (HKD020) の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告 N13007
- (83) 日本原子力学会 (2015) : 日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的安全評価実施基準: 2015
- (84) 地震調査研究推進本部 (2012c) : 今後の地震動ハザード評価に関する検討～2011 年・2012 年における検討結果～
- (85) 森川信之, 神野達夫, 成田章, 藤原広行, 奥村俊彦, 福島美彦 (2006) : 震源域と観測点を特定した地震動強さのばらつき—観測記録に基づく検討—, 第 12 回日本地震工学シンポジウム
- (86) 加藤愛太郎 (2012) : 2011 年東北地方太平洋沖地震の特徴について, 地球科学第 46 巻
- (87) 池浦友則, 野田静男 (2005) : 同一地点における地震動応答スペクトルのばらつき—地震規模と震源距離がそれぞれ等しい強震記録ペアの分析—, 日本地震工学会論文集, 第 5 巻, 第 3 号, 12-30
- (88) 社団法人日本電気協会 (1994) : 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別

調査委員会建築部会 静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）

〇 2 ⑥ VI-2-1-2 R 0

表 2-1(1) 敷地周辺における主な被害地震の諸元

No.	年 月 日	震央位置		マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地 名 (地震名)
		北緯	東経			
1	830. 2. 3	39.8° N	140.1° E	7.3	197	出羽
2	850. - . -	39.0° N	139.7° E	7.0	170	出羽
3	869. 7. 13	38.5° N	144° E	8.3	219	三陸沿岸
4	1423. 11. 23	39.5° N	140.5° E	6.5	150	羽後
5	1433. 11. 6	37.7° N	139.8° E	6.7	168	会津
6	1611. 9. 27	37.6° N	139.8° E	6.9	174	会津
7	1611. 12. 2	39.0° N	144.4° E	8.1	261	三陸沿岸及び北海道東岸
8	1616. 9. 9	38.1° N	142.0° E	7.0	55	仙台
9	1644. 10. 18	39.4° N	140.0° E	6.5	171	羽後本荘
10	1646. 6. 9	38.1° N	140.65° E	6.6	81	陸前
11	1670. 6. 22	37.75° N	139.15° E	6 ³ / ₄	218	越後中・南蒲原郡
12	1678. 10. 2	39.0° N	142.5° E	7.5	109	陸中
13	1706. 1. 19	38.6° N	139.9° E	5 ³ / ₄	141	湯殿山付近
14	1710. 9. 15	37.0° N	141.5° E	6.5	156	磐城
15	1717. 5. 13	38.5° N	142.5° E	7.5	88	仙台・花巻
16	1731. 10. 7	38.0° N	140.6° E	6.5	90	岩代
17	1736. 4. 30	38.3° N	140.8° E	6.0	62	仙台
18	1772. 6. 3	39.35° N	141.9° E	6 ³ / ₄	111	陸前・陸中
19	1780. 7. 20	38.9° N	139.9° E	6.5	150	酒田
20	1793. 2. 17	38.5° N	144.5° E	8.2	262	陸前・陸中・磐城
21	1804. 7. 10	39.05° N	139.95° E	7.0	153	羽前・羽後(象潟地震)
22	1821. 12. 13	37.45° N	139.6° E	5.8	197	岩代
23	1823. 9. 29	40.0° N	141.1° E	5.9	181	陸中岩手山
24	1835. 7. 20	38.5° N	142.5° E	7.0	88	仙台
25	1843. 6. 29	39.45° N	140.7° E	5.5	136	陸中沢内
26	1855. 9. 13	38.1° N	142.0° E	7 ¹ / ₄	55	陸前
27	1861. 10. 21	38.55° N	141.15° E	6.4	35	陸中・陸前・磐城
28	1894. 10. 22	38.9° N	139.9° E	7.0	150	庄内平野(庄内地震)
29	1896. 6. 15	39.5° N	144° E	8 ¹ / ₄	248	三陸沖(明治三陸地震津波)
30	1896. 8. 1	37.5° N	141.5° E	6.5	100	福島県沖

つづく

地震諸元は、1922年以前の地震については「日本被害地震総覧」に、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による。また、地震諸元に幅のあるものは、中央値を用いている。

表 2-1(2) 敷地周辺における主な被害地震の諸元

つづき

No.	年 月 日	震央位置		マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地 名 (地震名)
		北緯	東経			
31	1896. 8. 31	39.5° N	140.7° E	7.2	141	秋田・岩手県境(陸羽地震)
32	1897. 2. 20	38.1° N	141.9° E	7.4	48	仙台沖
33	1897. 8. 5	38.3° N	143.3° E	7.7	157	仙台沖
34	1897.10. 2	38.0° N	141.7° E	6.6	48	仙台沖
35	1898. 4. 23	38.6° N	142.0° E	7.2	49	宮城県沖
36	1900. 3. 12	38.3° N	141.9° E	6.4	37	金華山沖
37	1900. 5. 12	38.7° N	141.1° E	7.0	48	宮城県北部
38	1901. 6. 15	39° N	143° E	7.0	146	陸中沖
39	1905.12.23	38.5° N	141.8° E	5.9	28	岩手県沖
40	1906.10.12	40.0° N	140.5° E	5.4	198	秋田県北部
41	1910. 9. 26	36.8° N	141.5° E	5.9	178	常陸沖
42	1912. 4. 18	38.6° N	142.0° E	5.8	49	宮城県沖
43	1914. 3. 15	39.5° N	140.4° E	7.1	155	秋田県仙北郡(秋田仙北地震)
44	1914. 3. 28	39.2° N	140.4° E	6.1	130	秋田県平鹿郡
45	1915.11. 1	38.3° N	142.9° E	7.5	123	三陸沖
46	1922. 1. 23	37.5° N	141.5° E	6.5	100	磐城沖
47	1927. 8. 6	37° 54.34' N	142° 10.13' E	6.7	80	宮城県沖
48	1931.11. 4	39° 28.88' N	141° 50.36' E	6.5	124	岩手県小国付近
49	1933. 3. 3	39° 7.72' N	145° 7.02' E	8.1	325	三陸沖(三陸地震津波)
50	1933. 6. 19	38° 6.57' N	142° 19.44' E	7.1	79	宮城県沖
51	1936.11. 2	37° 22.35' N	140° 0.92' E	4.1	173	会津若松市付近
52	1936.11. 3	38° 15.78' N	142° 3.71' E	7.4	51	金華山沖
53	1937. 7. 27	38° 7.33' N	142° 0.03' E	7.1	54	金華山沖
54	1938. 5. 23	36° 34.43' N	141° 19.44' E	7.0	203	塩屋崎沖
55	1938.11. 5	36° 55.54' N	141° 55.12' E	7.5	168	福島県東方沖(福島県東方沖地震)
56	1942. 2. 21	37° 42.63' N	141° 50.75' E	6.5	82	福島県沖
57	1943. 8. 12	37° 20.16' N	139° 52.48' E	6.2	185	福島県田島付近(田島地震)
58	1944.12. 7	38° 22.33' N	140° 21.78' E	5.5	99	山形県左沢町
59	1956. 9. 30	37° 58.74' N	140° 36.62' E	6.0	91	宮城県南部
60	1962. 4. 30	38° 44.4' N	141° 8.3' E	6.5	49	宮城県北部(宮城県北部地震)

つづく

地震諸元は、1922年以前の地震については「日本被害地震総覧」に、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による。また、地震諸元に幅のあるものは、中央値を用いている。

表 2-1(3) 敷地周辺における主な被害地震の諸元

つづき

No.	年 月 日	震央位置		マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地 名 (地震名)
		北緯	東経			
61	1964. 6. 16	38° 22.2' N	139° 12.7' E	7.5	200	新潟県沖 (新潟地震)
62	1970. 10. 16	39° 12.71' N	140° 45.26' E	6.2	111	秋田県南東部
63	1972. 8. 20	38° 38.74' N	140° 3.42' E	5.3	129	山形県中部
64	1974. 6. 23	38° 39.52' N	141° 11.77' E	4.7	39	宮城県北部
65	1975. 8. 15	37° 2.75' N	141° 10.04' E	5.5	153	福島県沿岸
66	1976. 7. 5	38° 46' N	140° 41' E	4.9	82	鳴子付近
67	1977. 6. 8	38° 28' N	141° 40' E	5.9	16	宮城県沖
68	1978. 2. 20	38° 45' N	142° 12' E	6.7	72	宮城県沖
69	1978. 6. 12	38° 9' N	142° 10' E	7.4	65	宮城県沖(1978年宮城県沖地震)
70	1979. 4. 25	37° 22' N	139° 29' E	4.4	211	福島県西部
71	1986. 5. 26	40° 5.1' N	141° 12.1' E	5.0	189	岩手県北部
72	1987. 1. 9	39° 50.2' N	141° 46.6' E	6.6	161	岩手県北部
73	1987. 2. 6	36° 57.9' N	141° 53.6' E	6.7	163	福島県沖
74	1987. 4. 7	37° 18.2' N	141° 51.8' E	6.6	126	福島県沖
75	1987. 4. 23	37° 5.5' N	141° 37.4' E	6.5	146	福島県沖
76	1987. 6. 16	37° 30.5' N	140° 3.4' E	4.5	161	会津若松付近
77	1989. 11. 2	39° 51.5' N	143° 3.2' E	7.1	210	三陸はるか沖
78	1994. 12. 18	37° 17.7' N	139° 53.5' E	5.5	187	福島県西部
79	1995. 12. 22	38° 12.21' N	140° 23.05' E	4.6	100	蔵王付近
80	1996. 2. 17	37° 18.57' N	142° 32.86' E	6.8	152	福島県沖
81	1996. 8. 11	38° 54.49' N	140° 38.01' E	6.1	94	鬼首付近
82	1998. 9. 3	39° 48.36' N	140° 54.07' E	6.2	164	雫石付近
83	1998. 9. 15	38° 16.90' N	140° 45.60' E	5.2	66	仙台市付近
84	1999. 2. 26	39° 9.31' N	139° 50.21' E	5.3	167	象潟付近
85	2000. 4. 26	37° 34.80' N	140° 0.73' E	4.5	159	会津若松・喜多方付近
86	2001. 12. 2	39° 23.90' N	141° 15.79' E	6.4	113	岩手県内陸南部
87	2002. 11. 3	38° 53.79' N	142° 8.32' E	6.3	78	宮城県沖
88	2003. 5. 26	38° 49.26' N	141° 39.04' E	7.1	48	宮城県沖
89	2003. 7. 26	38° 26.07' N	141° 9.85' E	5.6	30	宮城県中部(前震)
90	2003. 7. 26	38° 24.30' N	141° 10.26' E	6.4	29	宮城県中部

つづく

地震諸元は、1922年以前の地震については「日本被害地震総覧」に、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による。また、地震諸元に幅のあるものは、中央値を用いている。

表 2-1(4) 敷地周辺における主な被害地震の諸元

つづき

No.	年月日	震央位置		マグニ チュー ド M	震央 距離 (km)	地名 (地震名)
		北緯	東経			
91	2003. 7. 26	38° 27. 39' N	141° 9. 88' E	5. 1	30	宮城県北部
92	2003. 7. 26	38° 30. 02' N	141° 11. 37' E	5. 5	29	宮城県中部
93	2003. 7. 28	38° 27. 50' N	141° 8. 98' E	5. 1	31	宮城県北部
94	2004. 8. 10	39° 40. 44' N	142° 7. 93' E	5. 8	152	岩手県沖
95	2005. 8. 16	38° 8. 97' N	142° 16. 67' E	7. 2	73	宮城県沖
96	2005. 12. 17	38° 26. 92' N	142° 10. 88' E	6. 1	60	宮城県沖
97	2006. 4. 22	38° 42. 16' N	141° 49. 27' E	4. 6	47	宮城県沖
98	2008. 6. 14	39° 1. 79' N	140° 52. 84' E	7. 2	88	栗駒地域 (2008 年岩手・ 宮城内陸地震)
99	2008. 6. 14	38° 53. 18' N	140° 40. 38' E	5. 7	90	宮城県北部
100	2008. 7. 24	39° 43. 92' N	141° 38. 12' E	6. 8	148	岩手県沿岸北部
101	2009. 10. 12	37° 25. 93' N	139° 41. 80' E	4. 9	192	会津地方
102	2010. 3. 13	37° 36. 85' N	141° 28. 30' E	5. 5	87	福島県沖
103	2010. 3. 14	37° 43. 45' N	141° 49. 08' E	6. 7	80	福島県沖
104	2010. 6. 13	37° 23. 76' N	141° 47. 74' E	6. 2	114	福島県沖
105	2010. 7. 4	39° 1. 48' N	140° 54. 77' E	5. 2	86	岩手県内陸南部
106	2010. 9. 29	37° 17. 10' N	140° 1. 53' E	5. 7	179	福島県中通り
107	2011. 3. 9	38° 19. 71' N	143° 16. 79' E	7. 3	156	三陸沖
108	2011. 3. 11	38° 6. 21' N	142° 51. 66' E	9. 0 [*]	124	東北沖 (平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震)
109	2011. 4. 7	38° 12. 25' N	141° 55. 21' E	7. 2	43	宮城県沖
110	2011. 4. 11	36° 56. 74' N	140° 40. 36' E	7. 0	177	福島県浜通り
111	2011. 4. 12	37° 3. 15' N	140° 38. 61' E	6. 4	168	福島県浜通り
112	2011. 4. 19	39° 36. 16' N	140° 23. 23' E	4. 9	165	秋田県内陸南部
113	2011. 6. 23	39° 56. 87' N	142° 35. 45' E	6. 9	196	岩手県沖
114	2011. 7. 23	38° 52. 42' N	142° 5. 47' E	6. 4	74	宮城県沖
115	2011. 7. 31	36° 54. 19' N	141° 13. 28' E	6. 5	168	福島県沖
116	2011. 8. 19	37° 38. 94' N	141° 47. 80' E	6. 5	87	福島県沖
117	2012. 3. 27	39° 48. 38' N	142° 20. 03' E	6. 6	172	岩手県沖
118	2012. 8. 30	38° 24. 49' N	141° 54. 85' E	5. 6	36	宮城県沖

つづく

地震諸元は、1922 年以前の地震については「日本被害地震総覧」に、1923 年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による。また、地震諸元に幅のあるものは、中央値を用いている。
※は、モーメントマグニチュードM_w。

表 2-1(5) 敷地周辺における主な被害地震の諸元

つづき

No.	年 月 日	震央位置		マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地 名 (地震名)
		北緯	東経			
119	2013. 9. 20	37° 3.08' N	140° 41.72' E	5.9	166	福島県浜通り
120	2015. 5. 13	38° 51.77' N	142° 9.01' E	6.8	76	宮城県沖
121	2016. 11. 22	37° 21.28' N	141° 36.25' E	7.4	116	福島県沖

〔地震諸元は、1922年以前の地震については「日本被害地震総覧」に、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による。また、地震諸元に幅のあるものは、中央値を用いている。〕

表 4-1 過去に発生した宮城県沖地震

[地震調査研究推進本部(2012a)]

発生年月日	地震名 (通称)	宮城県沖 繰り返し	宮城県沖 繰り返し 以外	三陸沖 南部 海溝寄り 繰り返し	三陸沖 南部 海溝寄り 繰り返し 以外	福島県沖	M
2011/3/11 14:46	東北地方 太平洋沖地震	○	○	○	○	○	9.0
869/7/13	貞観地震	○	○	○	○	○	8.3
1897/2/20		○					7.4
1933/6/19		○					7.1
1936/11/3		○					7.4
1937/7/27		○					7.1
1978/6/12	1978年 宮城県沖地震	○					7.4
2005/8/16		○					7.2
1898/4/23			○				7.2
2003/5/26			○※				7.1
2011/4/7			○※				7.1
1793/2/17		△	△	○	△		7.9
1897/8/5				○			7.7
1915/11/1					○		7.5
2011/3/9					○		7.3
1938/11/5	福島県 東方沖地震					○	7.5
1938/11/5						○	7.3
1938/11/6						○	7.4

(凡例：○＝当該年月日に発生した地震，△＝当該年月日に発生した可能性がある地震)

備考


※2003年5月26日と2011年4月7日の宮城県沖の地震は、プレート内で発生した逆断層型の地震である。
 は、1つの活動とみなした地震。

表 5-1(1) 敷地地盤で観測された主な地震

No.	発震日時 地名又は地震名	震央位置 東経 北緯	マグニ チュード M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	気象庁震度階級 (抜 粋)
1	2003年5月26日18:24 宮城県沖の地震	141° 39.04' E 38° 49.26' N	7.1	72	48	6弱：涌谷町新町裏，栗原市栗駒，栗原市高清水，栗原市金成，石巻市泉町，石巻市桃生町（旧） 5強：気仙沼市赤岩，気仙沼市唐桑町，宮城加美町小野田，色麻町四竈（旧），栗原市若柳，栗原市一迫（旧），栗原市瀬峰（旧），栗原市鶯沢，栗原市志波姫（旧），栗原市花山，登米市中田町，登米市迫町（旧），登米市登米町，登米市米山町，南三陸町志津川（旧），宮城美里町木間塚，大崎市古川三日町，大崎市松山，大崎市岩出山，大崎市田尻，鹿島台町平渡（旧），石巻市前谷地，東松島市矢本，鳴瀬町小野（旧） 5弱：気仙沼市本吉町津谷，宮城加美町宮崎，南方町八の森，宮城美里町北浦，名取市増田，蔵王町円田，大河原町新南（旧），宮城川崎町前川，亘理町下小路，仙台青葉区大倉，仙台泉区将監，石巻市大瓜，石巻市相野谷，石巻市雄勝町（旧），大郷町粕川，大衡村大衡（旧）
2	2005年8月16日11:46 宮城県沖の地震	142° 16.67' E 38° 8.97' N	7.2	42	73	6弱：宮城川崎町前川 5強：涌谷町新町裏，栗原市築館（旧），登米市迫町（旧），宮城美里町北浦，大崎市田尻，名取市増田，蔵王町円田，仙台宮城野区苦竹，仙台泉区将監，石巻市門脇，石巻市桃生町（旧），東松島市矢本 5弱：気仙沼市赤岩，宮城加美町中新田，栗原市栗駒，栗原市若柳，栗原市高清水，栗原市一迫（旧），栗原市瀬峰（旧），栗原市金成，栗原市志波姫（旧），登米市中田町，登米市東和町，登米市登米町，登米市米山町，登米市南方町，南三陸町志津川（旧），南三陸町歌津（旧），宮城美里町木間塚，大崎市古川三日町，大崎市松山，大崎市鹿島台，白石市亘理町，角田市角田，岩沼市桜，大河原町新南（旧），村田町村田，柴田町船岡，亘理町下小路，山元町浅生原（旧），仙台宮城野区五輪，仙台若林区遠見塚，石巻市泉町，石巻市北上町（旧），石巻市鮎川浜，石巻市相野谷，石巻市雄勝町（旧），石巻市前谷地，塩竈市旭町，東松島市小野，大郷町粕川，大衡村大衡（旧），女川町女川浜（旧）

つづく

地震諸元及び震度は，気象庁による。なお，震源位置は気象庁が2006年に見直した震央地名を用いている。震源深さ及び震央距離については，小数点以下を四捨五入して記載。

表 5-1(2) 敷地地盤で観測された主な地震

つづき

No.	発震日時 地名又は地震名	震央位置 東経 北緯	マグニ チュード M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	気象庁震度階級 (抜 粋)
3	2011年3月11日14:46 平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震	142° 51.66' E 38° 6.21' N	9.0*	24	124	7: 栗原市築館(旧) 6強: 涌谷町新町裏, 栗原市若柳, 栗原市高 清水, 栗原市一迫, 登米市米山町, 登米 市南方町, 宮城美里町木間塚, 大崎市古 川三日町, 大崎市古川北町, 大崎市鹿島 台, 大崎市田尻, 名取市増田, 蔵王町円 田, 宮城川崎町前川, 山元町浅生原(旧), 仙台宮城野区苦竹, 石巻市桃生町, 塩竈 市旭町, 東松島市矢本, 大衡村大衡 6弱: 気仙沼市赤岩, 気仙沼市唐桑町, 栗原 市栗駒, 栗原市瀬峰(旧), 栗原市金成, 登米市中田町, 登米市東和町, 登米市豊 里町, 登米市登米町, 登米市迫町, 南三 陸町志津川(旧), 南三陸町歌津(旧), 宮城美里町北浦, 大崎市松山, 白石市互 理町, 仙台空港, 角田市角田, 岩沼市桜, 大河原町新南, 互理町下小路, 仙台青葉 区大倉, 仙台青葉区作並, 仙台青葉区雨 宮, 仙台青葉区落合, 仙台宮城野区五輪, 仙台若林区遠見塚, 仙台東区将監, 石巻 市泉町, 石巻市門脇, 石巻市北上町(旧), 石巻市鮎川浜, 石巻市相野谷, 石巻市前 谷地, 東松島市小野, 松島町高城, 利府 町利府, 大和町吉岡, 大郷町粕川, 富谷 町富谷 5強: 気仙沼市笹が陣, 気仙沼市本吉町津谷, 宮城加美町中新田, 宮城加美町小野田, 色麻町四竈, 栗原市鶯沢, 栗原市花山, 登米市石越町, 登米市津山町, 大崎市鳴 子(旧), 大崎市三本木, 大崎市岩出山, 七ヶ宿町関, 村田町村田, 柴田町船岡, 丸森町上滝, 丸森町鳥屋, 仙台太白区山 田, 石巻市大瓜, 多賀城市中央, 七ヶ浜 町東宮浜 5弱: 宮城加美町宮崎

つづく

地震諸元及び震度は、気象庁による。なお、震源位置は気象庁が2006年に見直した震央地名を用いている。震源深さ及び震央距離については、小数点以下を四捨五入して記載。
※は、モーメントマグニチュード M_w 。

表 5-1(3) 敷地地盤で観測された主な地震

つづき

No.	発震日時 地名又は地震名	震央位置 東経 北緯	マグニ チュード M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	気象庁震度階級 (抜 粋)
4	2011年4月7日23:32 宮城県沖の地震	141° 55.21' E 38° 12.25' N	7.2	66	43	<p>6強：栗原市築館（旧）、栗原市若柳、仙台宮城野区苦竹</p> <p>6弱：涌谷町新町裏、栗原市栗駒、登米市中田町、登米市東和町、登米市米山町、登米市南方町、登米市迫町、宮城美里町北浦、大崎市古川三日町、大崎市古川北町、大崎市鹿島台、名取市増田、岩沼市桜、蔵王町円田、宮城川崎町前川、仙台青葉区大倉、仙台宮城野区五輪、仙台若林区遠見塚、石巻市泉町、石巻市門脇、塩竈市旭町、東松島市矢本、松島町高城、利府町利府、大衡村大衡、女川町鷺神浜</p> <p>5強：気仙沼市赤岩、気仙沼市笹が陣、気仙沼市本吉町津谷、宮城加美町中新田、色麻町四竈、登米市豊里町、登米市石越町、南三陸町志津川（旧2）、大河原町新南、柴田町船岡、亙理町下小路、山元町浅生原（旧）、仙台青葉区作並、仙台青葉区雨宮、仙台青葉区落合、仙台泉区将監、石巻市鮎川浜、東松島市小野、七ヶ浜町東宮浜、大和町吉岡、富谷町富谷</p> <p>5弱：大崎市鳴子（旧）、大崎市三本木、白石市亙理町、角田市角田、村田町村田、丸森町鳥屋、仙台太白区山田、石巻市大瓜</p>

地震諸元及び震度は、気象庁による。なお、震源位置は気象庁が2006年に見直した震央地名を用いている。震源深さ及び震央距離については、小数点以下を四捨五入して記載。

表 5-2 はぎとり解析に用いる地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	減衰定数 $h(f)=h_0f^{-\alpha}$			
G. L. (m)	O. P. (m)					水平		鉛直	
						h ₀	α	h ₀	α
0	18.7								
-1.7	17.0	1.7	2.10	204 (112)	467	0.10 (0.44)	0.00 (0.38)	0.50	0.51
-5.0	13.7	3.3							
-21.6	-2.9	16.6							
-27.3	-8.6	5.7	2.55	1500	2882	0.20	1.00	0.50	0.51
-34.5	-15.8	7.2							
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	1.00	0.87	0.50	0.62
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	0.77	1.00	1.00	0.61
-147.1	-128.4	65.3							
-	-	∞							

※括弧内の数値は、2011年東北地方太平洋沖地震の解析に使用。

表 5-3 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	減衰 (%)
G. L. (m)	O. P. (m)					
-27.3	-8.6					
-34.5	-15.8	7.2	2.55	1500	2882	3.00
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	
-147.1	-128.4	65.3		2600	5300	
-	-	∞	2.68	3000	-	※

※プレート間地震, 内陸地殻内地震

$$Q(f)=110 \cdot f^{0.69} \quad (f \geq 1\text{Hz}), \quad 110 \quad (f < 1\text{Hz})$$

[地震調査研究推進本部 (2005) ⁽³²⁾による]

海洋プレート内地震

$$Q(f)=114 \cdot f^{0.92} \quad [\text{佐藤 (2004) } ^{(33)}\text{による}]$$

表 5-4 ハイブリッド合成法のうち理論的手法に用いる地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	Q
G. L. (m)	O. P. (m)					
-27.3	-8.6					
-34.5	-15.8	7.2	2.55	1500	2882	150
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	200
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	
-147.1	-128.4	65.3		2600	5300	
-2209.44	-2190.74	2062.34	2.60	3100	5500	300
-6275.74	-6257.04	4066.3	2.65	3200		
-15580.52	-15561.82	9304.78	2.70	3400	5800	400
-28791.12	-28772.42	13210.6	2.80	3800	6400	
-	-	∞	3.20	4500	7500	500

表 6-1 海洋プレート内地震における地震タイプ毎の影響検討ケース

地震タイプ	地震規模	想定した地震に考慮した内容	評価方法
二重深発地震面上面の地震 2011年4月7日宮城県沖型地震	M7.5	2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)の震源域の北側に低速度域が広がっていること等 ⁽²⁷⁾⁽⁴⁷⁾ を考慮し、沈み込んだ海洋プレート内地震のうち、東北地方で発生した地震の最大規模を上回り、さらに北海道を含めた最大規模に相当するM7.5とした。短周期レベルを同地震相当 ^{*1} として、同地震の位置、強震動生成域を海洋性マントル内の敷地に寄せた位置にした断層モデルを考慮。	断層モデルを用いた手法による地震動評価(統計的グリーン関数法)
二重深発地震面上面の地震 2003年5月26日宮城県沖型地震	M7.3	東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内地震の最大規模M7.3を考慮。短周期レベルを2003年5月26日宮城県沖の地震相当 ^{*2} として、断層位置を敷地周辺において海洋プレート内地震の微小地震が集中している場所に考慮。	観測記録を用いた検討による評価 ^{*3}
二重深発地震面下面の地震	M7.5	地震テクトニクスに違いがあるが北海道で発生した下面の地震の最大規模M7.5(1993年釧路沖地震)を考慮。短周期レベルを2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震相当 ^{*4} 、断層位置を敷地下方にした断層モデルを考慮。	断層モデルを用いた手法による地震動評価(統計的グリーン関数法)
沖合いのやや浅い地震	M8.2	地震テクトニクスに違いがあるが北海道で発生した沖合いのやや浅い地震の最大規模M8.2(1994年北海道東方沖地震)を考慮。短周期レベルを2011年7月10日三陸沖の地震相当 ^{*5} 、2011年7月10日三陸沖の地震位置に断層モデルを考慮。	断層モデルを用いた手法による地震動評価(統計的グリーン関数法)
アウターライズ地震	M8.6	1611年三陸沿岸及び北海道東岸の地震が海洋プレート内地震であった場合のM8.6を考慮。短周期レベルを2011年3月11日三陸沖の地震の短周期レベル相当 ^{*6} 、断層位置を海溝軸付近の東側の敷地に最も近い位置に考慮。	観測記録を用いた検討による評価 ^{*7}

※1：2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)の地震モーメント-短周期レベルの関係相当の短周期レベル。

※2：2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)の地震モーメント-短周期レベルの関係相当の短周期レベル。

※3：2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)と考慮する地震(M7.3)との地震規模の違いについて、応答スペクトルの差(比率)を既往の距離減衰式で算定し、2003年宮城県沖の地震の観測記録に乗じることによって評価する。

※4：2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8)の地震モーメント-短周期レベルの関係相当の短周期レベル。

※5：2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)の短周期レベルは地震調査研究推進本部(2017)の短周期レベルより小さいことから、断層モデルの計算においてはこの短周期レベルを用いる。

※6：日本海溝の東側で発生した正断層の地震である2011年3月11日三陸沖の地震(M7.5)の地震モーメント-短周期レベルの関係相当の短周期レベル。

※7：2011年3月11日三陸沖の地震(M7.5)と想定する地震の地震規模の違い及び想定位置の違い(震源距離の違い)については、応答スペクトルの差(比率)を既往の距離減衰式で算定し、2011年3月11日三陸沖の地震の観測記録に乗じることによって評価する。

表 6-2 敷地周辺における主な活断層の諸元及び想定する地震

No.	断層名	断層長さ (km)	マグニチュード M ^{※1, 2}	等価震源距離 ^{※3} (km)	備考
1	F-2 断層・F-4 断層	27.8	7.2	24	断層長さ及び断層位置は、調査結果による。断層傾斜角は、F-6 断層～F-9 断層の地質調査結果から 60 度に設定。地震発生層は、敷地周辺の微小地震分布等を参考に 3～15km に設定。
2	F-5 断層 ^{#1}	11.2	6.7	23	
3	F-6 断層～F-9 断層 (F-6 断層, F-7 断層, F-9 断層, F-8 断層・f-12 断層)	23.7	7.1	19	
4 ^{※4}	F-12 断層～F-14 断層 ^{#2}	24.2	7.1	32	
5	f-13 断層	3.3	6.7	17	
6	f-14 断層 ^{#1}	5.1	6.7	23	
7	f-15 断層 ^{#1}	3.7	6.7	24	
8 ^{※4}	F-15 断層・F-16 断層	38.7	7.5	39	
9	網地島南西沖で 1 測線のみで認められる断層 ^{#1}	—	6.7	27	
10	Ⅲ断層 ^{#3}	41	7.5	86	
11	Ⅳ断層	43	7.6	82	
12	Ⅴ断層 ^{#3}	31	7.3	91	
13 ^{※4}	加護坊山-笠岳山断層 ^{#2}	17	6.9	36	断層長さ及び断層位置は、調査結果による。断層傾斜角は、2003 年 7 月 26 日 0 時 13 分宮城県中部の地震を参考に 45 度に設定。地震発生層は、海野ほか (2004) ⁽⁴²⁾ を参考に 2～11km に設定。
14 ^{※4}	旭山撓曲・須江断層 ^{#2}	16	6.8	28	
15 ^{※4}	2003 年宮城県中部の地震南部セグメント断層 ^{#1}	—	5.6	28	断層位置は、佐藤 (1989) ⁽⁴⁹⁾ による。
16 ^{※4}	1962 年宮城県北部地震震源断層 ^{#1}	12 ^{※5}	6.5	48	
17	長町-利府線断層帯 ^{#3}	40	7.5	61	地震調査研究推進本部 (2009b) に基づく。
18	山形盆地断層帯 ^{#4}	60	7.8	118	
19	横手盆地東縁断層帯 ^{#4}	56	7.7	125	
20 ^{※4}	北上低地西縁断層帯 ^{#4}	100	8.2	92	今泉ほか (2018) ⁽⁵⁰⁾ による。 No. 20, 22 は松田 (1975) の適用外だが、武村 (1990) ⁽⁵¹⁾ と比較し保守的な評価である松田 (1975) を採用。 No. 20 の地震発生層は海野ほか (2004) 等を参考に 2～11km に設定。 その他の地震発生層、断層傾斜角は、地震調査研究推進本部 (2009b) に基づく。
21	福島盆地西縁断層帯 ^{#4}	70	7.9	101	
22	双葉断層	110	8.2	87	

※1: 孤立した短い断層については、震源断層が地震発生層の上限から下限まで広がっているとした場合を考慮し、断層幅と同等の断層長さをもつ震源断層を仮定して評価した。

※2: 地震規模は松田 (1975)⁽⁴⁸⁾ による。ただし、2003 年宮城県北部の地震南部セグメント断層及び 1962 年宮城県北部地震震源断層の地震規模は気象庁カタログによる。

※3: 等価震源距離 (Xeq) は一様断層を仮定して算定。

※4: 連動を考慮する断層

※5: 震源断層長さ

M と Xeq の関係から、「M が大きく Xeq が小さい地震」に包絡されるグループ分けを行うと敷地に与える影響の大小関係は以下のとおり整理される。

- #1: f-13 断層による地震の影響より小さい。
- #2: F-6 断層～F-9 断層による地震の影響より小さい。
- #3: F-15 断層・F-16 断層による地震の影響より小さい。
- #4: 双葉断層による地震の影響より小さい。

表 6-3 敷地周辺における連動を考慮する活断層群の諸元及び想定する地震

連動のグループ	活断層群による地震	断層長さ (km)	マグニチュード M ^{※1}	等価震源距離 ^{※2} (km)
(1)	北上低地帯～宮城県北部の断層群による地震	112	8.2	78
(2)	石巻平野周辺の断層群による地震 [#]	44.0	7.6	31
(3) ^{※3}	仙台湾の断層群による地震	43.1	7.6	31

※1：地震規模は松田（1975）による。北上低地帯～宮城県北部の断層群については、松田（1975）の適用範囲外であるものの、武村（1990）による地震規模と比較し、保守的な評価である松田（1975）を採用した。

※2：等価震源距離は一様断層を仮想して算定。

※3：F-12断層～F-14断層と仙台湾北部の南傾斜の仮想震源断層（連動を考慮する上で仮想的に設定する断層）の連動を考慮。

#：断層位置、形状、地震規模と等価震源距離の関係から、敷地に与える影響は、仙台湾の断層群による地震の影響より小さい。

表 6-4 内陸地殻内地震の検討用地震の選定に用いた地震の諸元

種別	地震	マグニチュード M	等価震源距離 (km)
被害地震 [※]	1900年宮城県北部の地震	7.0	51
	2003年7月26日宮城県中部の地震	6.4	32
活断層による地震	双葉断層による地震	8.2	87
	IV断層による地震	7.6	82
	F-15断層・F-16断層による地震	7.5	39
	F-2断層・F-4断層による地震	7.2	24
	F-6断層～F-9断層による地震	7.1	19
	f-13断層による地震	6.7	17
連動を考慮する活断層群による地震	北上低地帯～宮城県北部の断層群による地震	8.2	78
	仙台湾の断層群による地震	7.6	31

※：点震源として等価震源距離を算定した。

表 6-5 2011 年東北地方太平洋沖型地震の断層パラメータ

(基本ケース)

項 目		設定値	設定方法	
巨視的震源特性	モーメントマグニチュード M_w	9.0	—	
	地震モーメント M_0 (N・m)	4.0×10^{22}	$\log M_0 = 1.5 \cdot M_w + 9.1$	
	断層面積 S (km ²)	100000	$\log S = M - 4.0, M = M_w$	
	基準点 (破壊開始点)	北緯 N (°)	38.1035	2011 年東北地方太平洋沖地震の震源位置 (気象庁 (2012))
		東経 E (°)	142.8610	
		深さ H (km)	23.7	
	基準点～上端 W_1 (km)	55	—	
	基準点～北縁 l_2 (km)	195	—	
	断層長さ L (km)	500	断層面積に基づき設定	
	断層幅 W (km)	200	断層面積に基づき設定	
	走向 θ (°)	200	2011 年東北地方太平洋沖地震の CMT 解 (F-net)	
傾斜角	浅部 δ_1 (°)	12	壇ほか (2005) ⁽⁵⁷⁾	
	深部 δ_2 (°)	21	壇ほか (2005)	
断層上端深さ h_u (km)	12.3	$h_u = H - W_1 \cdot \sin \delta_1$		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	88	2011 年東北地方太平洋沖地震の CMT 解 (F-net)	
	S 波速度 β (km/s)	3.9	地震調査研究推進本部 (2002) ⁽⁵⁸⁾ , (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	3.0	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)	
	剛性率 μ (N/m ²)	4.68×10^{10}	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)	
	密度 ρ (g/cm ³)	3.08	$\rho = \mu / \beta^2$	
	平均すべり量 D (cm)	854.3	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.08	$\Delta \sigma = 7 / 16 \cdot M_0 \cdot (S / \pi)^{-3/2}$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	18	8.16 地震のシミュレーション結果	
成強震動生成域全体	面積 S_a (km ²)	12500	$S_a = c \cdot S, c = 0.125$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	1.00×10^{22}	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	1708.6	$D_a = \xi \cdot D, \xi = 2.0$	
	短周期レベル A_a (N・m/s ²)	4.16×10^{20}	$A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	
域各強震動生成	面積 S_{ai} (km ²)	2500	$S_{ai} = S_a / 5$	
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	2.00×10^{21}	$M_{0ai} = M_{0a} \cdot S_{ai}^{1.5} / \sum S_{ai}^{1.5} = M_{0a} / 5$	
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	1708.6	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu \cdot S_{ai})$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	34.5	$\Delta \sigma_{ai} = S / S_{ai} \cdot \Delta \sigma \times 1.4$	
	短周期レベル A_{ai} (N・m/s ²)	1.86×10^{20}	$A_{ai} = 4 \cdot \pi \cdot \sqrt{(S_{ai} / \pi)} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot \beta^2$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	87500	$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	3.00×10^{22}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	732.2	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	6.9	$\sigma_b = 0.2 \cdot \Delta \sigma_a, \Delta \sigma_a = \sum \Delta \sigma_{ai}$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状	—	

※放射特性係数は 0.62 を用いた。

8.16 地震：2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震

表 6-6 プレート間地震において考慮する不確かさケース

検討ケース	認識論的不確かさ			偶然的な不確かさ	
	地震規模 M	断層の位置	応力降下量 (短周期レベル)	SMGA の位置	破壊開始点
基本ケース	M9.0 (M _w 9.0)	三陸沖中部から 茨城県沖に設定	宮城県沖の地域性を考 慮して設定 34.5MPa	M7~8 の過去の地震の震 源域との対応を考慮して 設定	破壊の伝播方向が敷地に向か うように配置
不確かさケース 1 (応力降下量(短周期レベル)の 不確かさ)	M9.0 (M _w 9.0)	三陸沖中部から 茨城県沖に設定	基本ケースの 1.14 倍を 考慮 39.4MPa	M7~8 の過去の地震の震 源域との対応を考慮して 設定	破壊の伝播方向が敷地に向か うように配置
不確かさケース 2 (SMGA ^{※1} 位置と応力降下量(短 周期レベル)の不確かさの重畳 ^{※2})	M9.0 (M _w 9.0)	三陸沖中部から 茨城県沖に設定	基本ケースの 1.14 倍を 考慮 39.4MPa	宮城県沖の SMGA を敷地に 最も近い位置に移動	破壊の伝播方向が敷地に向か うように配置

※1：強震動生成域

※2：SMGA 位置の不確かさケースについては、不確かさケース 2 (SMGA 位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)で代表させる。

: 考慮する不確かさ

: あらかじめモデルに織り込む不確かさ

表 6-7 2011 年東北地方太平洋沖型地震の断層パラメータ

(不確かさケース 1, 不確かさケース 2)

項 目		設定値	設定方法	
巨視的震源特性	モーメントマグニチュード M_w	9.0	—	
	地震モーメント M_0 (N・m)	4.0×10^{22}	$\log M_0 = 1.5 \cdot M_w + 9.1$	
	断層面積 S (km ²)	100000	$\log S = M - 4.0, M = M_w$	
	基準点 (破壊開始点)	北緯 N (°)	38.1035	2011 年東北地方太平洋沖地震の震源位置 (気象庁 (2012))
		東経 E (°)	142.8610	
		深さ H (km)	23.7	
	基準点～上端 W_1 (km)	55	—	
	基準点～北縁 l_2 (km)	195	—	
	断層長さ L (km)	500	断層面積に基づき設定	
	断層幅 W (km)	200	断層面積に基づき設定	
	走向 θ (°)	200	2011 年東北地方太平洋沖地震の CMT 解 (F-net)	
	傾斜角	浅部 δ_1 (°)	12	壇ほか (2005)
深部 δ_2 (°)		21	壇ほか (2005)	
断層上端深さ h_u (km)	12.3	$h_u = H - W_1 \cdot \sin \delta_1$		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	88	2011 年東北地方太平洋沖地震の CMT 解 (F-net)	
	S 波速度 β (km/s)	3.9	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	3.0	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)	
	剛性率 μ (N/m ²)	4.68×10^{10}	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)	
	密度 ρ (g/cm ³)	3.08	$\rho = \mu / \beta^2$	
	平均すべり量 D (cm)	854.3	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.08	$\Delta \sigma = 7 / 16 \cdot M_0 \cdot (S / \pi)^{-3/2}$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	18	8.16 地震のシミュレーション結果	
域全体 強震動生成	面積 S_a (km ²)	12500	$S_a = c \cdot S, c = 0.125$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	1.00×10^{22}	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	1708.6	$D_a = \xi \cdot D, \xi = 2.0$	
	短周期レベル A_a (N・m/s ²)	4.28×10^{20}	$A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	
各強震動生成域	強震動生成域 (SMGA)	SMGA2	SMGA2 以外	
	面積 S_{ai} (km ²)	2500	2500	$S_{ai} = S_a / 5$
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	2.00×10^{21}	2.00×10^{21}	$M_{0ai} = M_{0a} \cdot S_{ai}^{1.5} / \sum S_{ai}^{1.5} = M_{0a} / 5$
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	1708.6	1708.6	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu \cdot S_{ai})$
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	39.4	34.5	$\Delta \sigma_{a2} = S / S_{ai} \cdot \Delta \sigma \times 1.6$ $\Delta \sigma_{ai} = S / S_{ai} \cdot \Delta \sigma \times 1.4$ (SMGA2 以外)
	短周期レベル A_{ai} (N・m/s ²)	2.13×10^{20}	1.86×10^{20}	$A_{ai} = 4 \cdot \pi \cdot \sqrt{(S_{ai} / \pi)} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot \beta^2$
背景領域	面積 S_b (km ²)	87500	$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	3.00×10^{22}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	732.2	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	6.9	$\sigma_b = 0.2 \cdot \Delta \sigma_a, \Delta \sigma_a = \sum \Delta \sigma_{ai}$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状	—	

※放射特性係数は 0.62 を用いた。

8.16 地震 : 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震

表 6-8 2011 年 4 月 7 日宮城県沖型地震の断層パラメータ

(基本ケース, 不確かさケース 1)

項 目		設定値	設定方法	
巨視的震源特性	気象庁マグニチュード M_J	7.5	—	
	モーメントマグニチュード M_w	7.4	4.7 地震の M_J と M_w の関係を基に設定	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.58×10^{20}	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	断層面積 S (km ²)	402	$S = (7/16) \cdot M_0 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot \beta^2 / A \cdot (S/S_a)^{0.5}$, $S_a/S = 0.4$	
	基準点	北緯 N (°)	38.1672	—
		東経 E (°)	141.8445	—
	断層長さ L (km)	33.5	$L = S/W$	
	断層幅 W (km)	12	東北大学 (2011) ⁽⁶⁶⁾ 等を参考に設定	
	走向 θ (°)	20	Nakajima et al. (2011) 等を参考に設定	
	傾斜角 δ (°)	37	原田・釜江 (2011)	
断層上端深さ h (km)	55.83	東北大学 (2011) 等を参考に設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90	—	
	S 波速度 β (km/s)	4.0	佐藤・巽 (2002) ⁽⁶⁷⁾	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.88	$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	4.80×10^{10}	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	3.0	佐藤・巽 (2002)	
	平均すべり量 D (cm)	821	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	47.8	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.72×10^{20}	$A = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \times 1.5$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	18	5.26 地震のシミュレーション結果	
域強震動生成	面積 S_a (km ²)	161	$S_a = (S_a/S) \cdot S$, $S_a/S = 0.4$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	1.27×10^{20}	$M_{0a} = \mu \cdot S_a \cdot D_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	1641	$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	119.6	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma / (S_a/S)$, $S_a/S = 0.4$	
各強震動生成域	強震動生成域 (SMGA)	SMGA3 以外	SMGA3	
	面積 S_{ai} (km ²)	36	89	$S_{a1, 2} : 4.7$ 地震シミュレーションモデル $S_{a3} = S_a - S_{a1} - S_{a2}$
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	2.15×10^{19}	8.37×10^{19}	M_{0ai} ($S_i^{1.5}$ の重みで配分)
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	1246.8	1960	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu \cdot S_{ai})$
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	119.6	119.6	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$
背景領域	面積 S_b (km ²)	241	$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	3.17×10^{19}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	273.5	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	13.1	$\sigma_b = (D_b/W_b) \cdot (\pi^{0.5}/D_a) \cdot r \cdot \sum (r_i/r)^3 \cdot \sigma_a$ $r = (S_a/\pi)^{0.5}$, $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状	—	

※放射特性係数は 0.62 を用いた。

4.7 地震 : 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震

5.26 地震 : 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震

表 6-9 海洋プレート内地震において考慮する不確かさケース

検討ケース	認識論的不確かさ			偶然的不確かさ	
	地震規模 M	断層の位置	短周期レベル (応力降下量)	SMGA の位置	破壊開始点
基本ケース (SMGA ^{※1} マントル内 シミュレーションベース)	M7.5 ^{※2}	海洋性マントル内	2011年4月7日宮城県沖の 地震の短周期レベル相当 ^{※3}	2011年4月7日宮城県沖の 地震のシミュレーション位 置+拡張側は断層上端	破壊の伝播方向が敷 地に向かうように配 置
不確かさケース 1 (SMGA マントル内 シミュレーションアレンジ)	M7.5 ^{※2}	海洋性マントル内	2011年4月7日宮城県沖の 地震の短周期レベル相当 ^{※3}	断層上端	破壊の伝播方向が敷 地に向かうように配 置
不確かさケース 2 (SMGA 地殻内集約)	M7.5 ^{※2}	海洋地殻+ 海洋性マントル	2011年4月7日宮城県沖の 地震の短周期レベル相当の 0.8倍 ^{※4}	断層上端	破壊の伝播方向が敷 地に向かうように配 置
不確かさケース 3 (SMGA マントル内集約)	M7.5 ^{※2}	海洋性マントル内	2011年4月7日宮城県沖の 地震の短周期レベル相当 ^{※3}	断層上端	破壊の伝播方向が敷 地に向かうように配 置

※1:強震動生成域

※2:宮城県沖の海洋プレート内の低速度域の傾向に加え、過去に東北地方で発生した海洋プレート内地震の最大規模(M7.3)や北海道で発生した沈み込んだ海洋プレート内地震の最大規模(M7.5)も踏まえ、保守的にM7.5を考慮する。

※3:地震モーメント-短周期レベルの関係相当の短周期レベルを考慮する。地震調査研究推進本部(2017)による短周期レベルの1.5倍。

※4:海洋性マントルと海洋地殻の応力降下量の違いの傾向を踏まえたうえで、保守的に地震モーメント-短周期レベルの関係相当の短周期レベルの0.8倍を考慮する。地震調査研究推進本部(2017)による短周期レベルの1.2倍(=1.5×0.8)。

: 考慮する不確かさ

: あらかじめモデルに織り込む不確かさ

表 6-10 2011 年 4 月 7 日宮城県沖型地震の断層パラメータ

(不確かさケース 2)

項 目		設定値	設定方法	
巨視的震源特性	気象庁マグニチュード M_J	7.5	—	
	モーメントマグニチュード M_w	7.4	4.7 地震の M_J と M_w の関係を基に設定	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.58×10^{20}	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	断層面積 S (km ²)	858	$S = (49 \cdot \pi^4 \cdot \beta^4 \cdot M_0^2) / (16 \cdot A^{\#2} \cdot S_a)$	
	基準点	北緯 N (°)	38.1924	—
		東経 E (°)	141.7558	—
	断層長さ L (km)	35	$L = S / W$	
	断層幅 W (km)	25	プレート境界から応力中立面を地震発生層として考慮し設定	
	走向 θ (°)	20	Nakajima et al. (2011) 等を参考に設定	
	傾斜角 δ (°)	37	原田・釜江 (2011)	
断層上端深さ h (km)	49.5	J-SHIS (2014) ⁽⁷¹⁾ のプレート形状を考慮し設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90	—	
	S波速度 β (km/s)	4.0	佐藤・巽 (2002)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.88	$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	4.80×10^{10}	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	3.0	佐藤・巽 (2002)	
	平均すべり量 D (cm)	385	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	15.37	$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.38×10^{20}	$A^{\#} = 9.84 \times 10^{10} \cdot (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ $A = A^{\#} \times 1.2$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	18	5.26 地震のシミュレーション結果	
	域強震動生成	面積 S_a (km ²)	170	$S_a = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$
地震モーメント M_{0a} (N・m)		6.28×10^{19}	$M_{0a} = \mu \cdot S_a \cdot D_a$	
平均すべり量 D_a (cm)		770	$D_a = \xi \cdot D, \xi = 2.0$	
応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)		93.1	$\Delta \sigma_a = A / (4 \cdot \beta^2 \cdot (\pi \cdot S_a)^{0.5})$	
成各域強震動生成	面積 S_{ai} (km ²)	85	$S_{ai} = S_a / 2$	
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	3.14×10^{19}	$M_{0ai} = M_{0a} / 2$	
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	770	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu \cdot S_{ai})$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	93.1	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	688	$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	9.57×10^{19}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	290	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	14.0	$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状	—	

※4.7 地震：2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震

5.26 地震：2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震

表 6-11 2011 年 4 月 7 日宮城県沖型地震の断層パラメータ

(不確かさケース 3)

項 目		設定値	設定方法	
巨視的震源特性	気象庁マグニチュード M_J	7.5	—	
	モーメントマグニチュード M_w	7.4	4.7 地震の M_J と M_w の関係を基に設定	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.58×10^{20}	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	断層面積 S (km ²)	858	$S = (49 \cdot \pi^4 \cdot \beta^4 \cdot M_0^2) / (16 \cdot A^{\#2} \cdot S_a)$	
	基準点	北緯 N (°)	38.1672	—
		東経 E (°)	141.8445	—
	断層長さ L (km)	35	$L = S / W$	
	断層幅 W (km)	25	不確かさケース 2 に合わせて設定	
	走向 θ (°)	20	Nakajima et al. (2011) 等を参考に設定	
	傾斜角 δ (°)	37	原田・釜江 (2011)	
断層上端深さ h (km)	55.8	基本ケースに合わせて設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90	—	
	S 波速度 β (km/s)	4.0	佐藤・巽 (2002)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.88	$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	4.80×10^{10}	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	3.0	佐藤・巽 (2002)	
	平均すべり量 D (cm)	385	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	15.37	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.72×10^{20}	$A^{\#} = 9.84 \times 10^{10} \cdot (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ $A = A^{\#} \times 1.5$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	18	5.26 地震のシミュレーション結果	
	域強震動生成	面積 S_a (km ²)	170	$S_a = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$
地震モーメント M_{0a} (N・m)		6.28×10^{19}	$M_{0a} = \mu \cdot S_a \cdot D_a$	
平均すべり量 D_a (cm)		770	$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)		116.4	$\Delta \sigma_a = A / (4 \cdot \beta^2 \cdot (\pi \cdot S_a)^{0.5})$	
成各域強震動生成	面積 S_{ai} (km ²)	85	$S_{ai} = S_a / 2$	
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	3.14×10^{19}	$M_{0ai} = M_{0a} / 2$	
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	770	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu \cdot S_{ai})$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	116.4	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	688	$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	9.57×10^{19}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	290	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	17.5	$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状	—	

※放射特性係数は 0.62 を用いた。

4.7 地震：2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震

5.26 地震：2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震

表 6-12 F-6 断層～F-9 断層による地震の断層パラメータ

(基本ケース)

項 目		設定値		設定方法	
巨視的 震源特性	モーメントマグニチュード M_w	6.72		$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.50×10^{19}		$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	
	断層面積 S (km ²)	519		$S = L \cdot W$	
	基準点	北緯 N (°)	38.3613		—
		東経 E (°)	141.5729		—
	断層長さ L (km)	23.7		地質調査結果に基づき設定	
	断層幅 W (km)	21.9		地震発生層厚さと傾斜角から設定	
	走向 θ (°)	133.5		地質調査結果に基づき設定	
	傾斜角 δ (°)	60		地質調査結果等に基づき設定	
	断層上端深さ h_u (km)	3		微小地震分布等に基づき設定	
断層下端深さ h_l (km)	22		微小地震分布等に基づき設定		
微視的 震源特性	すべり角 λ (°)	90		—	
	S波速度 β (km/s)	3.4		地震調査研究推進本部 (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.45		$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	3.12×10^{10}		$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	2.7		地震調査研究推進本部 (2005)	
	平均すべり量 D (cm)	92.5		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1		$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.31×10^{19}		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	8.3		香川ほか (2003) ⁽⁷⁴⁾ を参考に設定	
全体 アスペリ ティ	面積 S_a (km ²)	101		$S_a = \pi \cdot r^2$, $r = (7 \cdot \pi \cdot M_0 \cdot \beta^2) / (4 \cdot A \cdot R)$ $R = (S / \pi)^{0.5}$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	5.83×10^{18}		$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	185		$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	15.9		$\Delta \sigma_a = (7 / 16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$	
各 アスペ リティ	アスペリティ	アスペリティ 1	アスペリティ 2		
	面積 S_{ai} (km ²)	67.3	33.7	$S_{a1} = (2/3) \cdot S_a$, $S_{a2} = (1/3) \cdot S_a$	
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	4.31×10^{18}	1.52×10^{18}	$M_{0ai} = \mu \cdot D_{ai} \cdot S_{ai}$	
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	205	145	$D_{ai} = (\gamma_i / \sum \gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i = r_i / r$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	15.9	15.9	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	
背景 領域	面積 S_b (km ²)	418		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	9.15×10^{18}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	70.1		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	2.0		$\sigma_b = (D_b / W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_a) \cdot r \cdot \sum \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他 の特性	破壊伝播形式	放射状		—	

表 6-13 仙台湾の断層群による地震の断層パラメータ

(基本ケース)

項目		設定値		設定方法	
		F-12断層 ～ F-14断層	仙台湾北部の 南傾斜の仮想 震源断層		
巨視的震源特性	モーメントマグニチュード M_w	6.76		$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.76×10^{19}		$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	
	断層面積 S (km ²)	562.4		$S = L \cdot W$ (断層面の重複を考慮)	
	基準点	北緯 N (°)	38.22357	38.29544	—
		東経 E (°)	141.38073	141.19450	—
	断層長さ L (km)	24.2	18.9	地質調査結果に基づき設定	
	断層幅 W (km)	13.9	13.9	地震発生層厚さと傾斜角から設定	
	走向 θ (°)	143.7	116.6	両端位置から設定	
	傾斜角 δ (°)	60	60	地質調査結果等に基づき設定	
	断層上端深さ h_u (km)	3	3	微小地震分布等に基づき設定	
断層下端深さ h_l (km)	15	15	微小地震分布等に基づき設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90		—	
	S波速度 β (km/s)	3.4		地震調査研究推進本部 (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.45		$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	3.12×10^{10}		$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	2.7		地震調査研究推進本部 (2005)	
	平均すべり量 D (cm)	100		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.2		$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.38×10^{19}		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高域遮断特性 f_{max} (Hz)	8.3		香川ほか (2003) を参考に設定		
アスペリテ	面積 S_a (km ²)	115.5		$S_a = \pi \cdot r^2$, $r = (7 \cdot \pi \cdot M_0 \beta^2) / (4 \cdot A \cdot R)$ $R = (S / \pi)^{0.5}$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	7.23×10^{18}		$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	200		$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	15.7		$\Delta \sigma_a = (7 / 16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	446.9		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	1.04×10^{19}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	74.0		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	3.4		$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状		—	

表 6-14 内陸地殻内地震において考慮する不確かさケース

地震	検討ケース	認識論的不確かさ						偶然的 不確かさ
		地震規模 M ^{※1}	断層の 位置	地震 発生層	アスペリティ の位置	傾斜角	アスペリティの 短周期レベル (応力降下量)	破壊 開始点
F-6 断層～F-9 断層による地震	基本ケース	M7.1 ^{※3} M7.2 ^{※4}	地質調査 結果	3～22km	敷地寄せ 断層上端	60°	地震調査研究推進本部 (2017) ×1.0	破壊が敷地に 向かう位置
	不確かさケース 1 (短周期レベルの不確かさ ^{※2})	M7.1 ^{※3} M7.2 ^{※4}	地質調査 結果	3～22km	敷地寄せ 断層上端	60°	地震調査研究推進本部 (2017) ×1.5	破壊が敷地に 向かう位置
	不確かさケース 2 (断層傾斜角の不確かさ)	M7.1 ^{※3} M7.4 ^{※4}	地質調査 結果	3～22km	敷地寄せ 断層上端	45°	地震調査研究推進本部 (2017) ×1.0	破壊が敷地に 向かう位置
	不確かさケース 3 (アスペリティの不確かさ)	M7.1 ^{※3} M7.2 ^{※4}	地質調査 結果	3～22km	集約 敷地寄せ 断層上端	60°	地震調査研究推進本部 (2017) ×1.0	破壊が敷地に 向かう位置
仙台湾の断層群 による地震	基本ケース	M7.6 ^{※3} M7.3 ^{※4}	地質調査 結果	3～15km	敷地寄せ 断層上端	60°	地震調査研究推進本部 (2017) ×1.0	破壊が敷地に 向かう位置
	不確かさケース 1 (短周期レベルの不確かさ ^{※2})	M7.6 ^{※3} M7.3 ^{※4}	地質調査 結果	3～15km	敷地寄せ 断層上端	60°	地震調査研究推進本部 (2017) ×1.5	破壊が敷地に 向かう位置

※1：応答スペクトルに基づく地震動評価では、松田（1975）と武村（1990）による地震規模を比較して保守的な方を用いる。

※2：2007年新潟県中越沖地震の知見を反映し、地震調査研究推進本部（2017）による短周期レベル（応力降下量）の1.5倍を考慮。

※3：松田（1975）による。 ※4：武村（1990）による。

■：考慮する不確かさ ■：あらかじめモデルに織り込む不確かさ

表 6-15 F-6 断層～F-9 断層による地震の断層パラメータ

(不確かさケース 1: 短周期レベル (応力降下量))

項 目		設定値		設定方法	
巨視的 震源特性	モーメントマグニチュード M_w	6.72		$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.50×10^{19}		$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	
	断層面積 S (km ²)	519		$S = L \cdot W$	
	基準点	北緯 N (°)	38.3613		—
		東経 E (°)	141.5729		—
	断層長さ L (km)	23.7		地質調査結果に基づき設定	
	断層幅 W (km)	21.9		地震発生層厚さと傾斜角から設定	
	走向 θ (°)	133.5		地質調査結果に基づき設定	
	傾斜角 δ (°)	60		地質調査結果等に基づき設定	
	断層上端深さ h_u (km)	3		微小地震分布等に基づき設定	
断層下端深さ h_l (km)	22		微小地震分布等に基づき設定		
微視的 震源特性	すべり角 λ (°)	90		—	
	S波速度 β (km/s)	3.4		地震調査研究推進本部 (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.45		$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	3.12×10^{10}		$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	2.7		地震調査研究推進本部 (2005)	
	平均すべり量 D (cm)	92.5		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1		$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.31×10^{19}		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	8.3		香川ほか (2003) を参考に設定	
全体 アスペリ ティ	面積 S_a (km ²)	101		$S_a = \pi \cdot r^2$, $r = (7 \cdot \pi \cdot M_0 \cdot \beta^2) / (4 \cdot A \cdot R)$ $R = (S / \pi)^{0.5}$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	5.83×10^{18}		$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	185		$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	23.8		$\Delta \sigma_a = (7 / 16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R) \times 1.5$	
各アス ペリ ティ	アスペリティ	アスペリティ 1	アスペリティ 2		
	面積 S_{ai} (km ²)	67.3	33.7	$S_{a1} = (2/3) \cdot S_a$, $S_{a2} = (1/3) \cdot S_a$	
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	4.31×10^{18}	1.52×10^{18}	$M_{0ai} = \mu \cdot D_{ai} \cdot S_{ai}$	
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	205	145	$D_{ai} = (\gamma_i / \sum \gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i = r_i / r$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	23.8	23.8	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	
背景 領域	面積 S_b (km ²)	418		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	9.15×10^{18}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	70.1		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	3.1		$\sigma_b = (D_b / W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_a) \cdot r \cdot \sum \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の 特性	破壊伝播形式	放射状		—	

O2 ⑥ VI-2-1-2 R0

表 6-16 F-6 断層～F-9 断層による地震の断層パラメータ

(不確かさケース 2 : 断層傾斜角)

項 目		設定値		設定方法	
巨視的震源特性	モーメントマグニチュード M_w	6.84		$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	地震モーメント M_0 (N・m)	2.26×10^{19}		$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	
	断層面積 S (km ²)	637.5		$S = L \cdot W$	
	基準点	北緯 N (°)	38.3613		—
		東経 E (°)	141.5729		—
	断層長さ L (km)	23.7		地質調査結果に基づき設定	
	断層幅 W (km)	26.9		地震発生層厚さと傾斜角から設定	
	走向 θ (°)	133.5		地質調査結果に基づき設定	
	傾斜角 δ (°)	45		不確かさを考慮して設定	
	断層上端深さ h_u (km)	3		微小地震分布等に基づき設定	
断層下端深さ h_l (km)	22		微小地震分布等に基づき設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90		—	
	S波速度 β (km/s)	3.4		地震調査研究推進本部 (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.45		$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	3.12×10^{10}		$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	2.7		地震調査研究推進本部 (2005)	
	平均すべり量 D (cm)	113.6		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.4		$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.5×10^{19}		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
	高域遮断特性 f_{max} (Hz)	8.3		香川ほか (2003) を参考に設定	
全体アスペリティ	面積 S_a (km ²)	142.3		$S_a = \pi \cdot r^2$, $r = (7 \cdot \pi \cdot M_0 \cdot \beta^2) / (4 \cdot A \cdot R)$ $R = (S / \pi)^{0.5}$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	1.01×10^{19}		$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	227.2		$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	15.3		$\Delta \sigma_a = (7 / 16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$	
各アスペリティ	アスペリティ	アスペリティ 1	アスペリティ 2		
	面積 S_{ai} (km ²)	94.9	47.4	$S_{a1} = (2/3) \cdot S_a$, $S_{a2} = (1/3) \cdot S_a$	
	地震モーメント M_{0ai} (N・m)	7.46×10^{18}	2.64×10^{18}	$M_{0ai} = \mu \cdot D_{ai} \cdot S_{ai}$	
	平均すべり量 D_{ai} (cm)	251.8	178.1	$D_{ai} = (\gamma_i / \sum \gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i = r_i / r$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	15.3	15.3	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	495.2		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	1.25×10^{19}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	81		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	1.8		$\sigma_b = (D_b / W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_a) \cdot r \cdot \sum \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状		—	

表 6-17 F-6 断層～F-9 断層による地震の断層パラメータ

(不確かさケース 3 : アスペリティ集約)

項 目		設定値	設定方法	
巨視的震源特性	モーメントマグニチュード M_w	6.72	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.50×10^{19}	$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	
	断層面積 S (km ²)	519	$S = L \cdot W$	
	基準点	北緯 N (°)	38.3613	—
		東経 E (°)	141.5729	—
	断層長さ L (km)	23.7	地質調査結果に基づき設定	
	断層幅 W (km)	21.9	地震発生層厚さと傾斜角から設定	
	走向 θ (°)	133.5	地質調査結果に基づき設定	
	傾斜角 δ (°)	60	地質調査結果等に基づき設定	
断層上端深さ h_u (km)	3	微小地震分布等に基づき設定		
断層下端深さ h_l (km)	22	微小地震分布等に基づき設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90	—	
	S波速度 β (km/s)	3.4	地震調査研究推進本部 (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.45	$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	3.12×10^{10}	$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	2.7	地震調査研究推進本部 (2005)	
	平均すべり量 D (cm)	92.5	$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.31×10^{19}	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高域遮断特性 f_{max} (Hz)	8.3	香川ほか (2003) を参考に設定		
アスペリティ	面積 S_a (km ²)	101	$S_a = \pi \cdot r^2$, $r = (7 \cdot \pi \cdot M_0 \cdot \beta^2) / (4 \cdot A \cdot R)$ $R = (S / \pi)^{0.5}$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	5.83×10^{18}	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	185	$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	15.9	$\Delta \sigma_a = (7 / 16) \cdot M_0 / (r^2 \cdot R)$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	418	$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	9.15×10^{18}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	70.1	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	2.7	$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状	—	

表 6-18 仙台湾の断層群による地震の断層パラメータ
(不確かさケース 1: 短周期レベル (応力降下量))

項 目		設定値		設定方法	
		F-12 断層 ～ F-14 断層	仙台湾北部の 南傾斜の仮想 震源断層		
巨視的震源特性	モーメントマグニチュード M_w	6.76		$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	
	地震モーメント M_0 (N・m)	1.76×10^{19}		$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	
	断層面積 S (km ²)	562.4		$S = L \cdot W$ (断層面の重複を考慮)	
	基準点	北緯 N (°)	38.22357	38.29544	—
		東経 E (°)	141.38073	141.19450	—
	断層長さ L (km)	24.2	18.9	地質調査結果に基づき設定	
	断層幅 W (km)	13.9	13.9	地震発生層厚さと傾斜角から設定	
	走向 θ (°)	143.7	116.6	両端位置から設定	
	傾斜角 δ (°)	60	60	地質調査結果等に基づき設定	
	断層上端深さ h_u (km)	3	3	微小地震分布等に基づき設定	
断層下端深さ h_l (km)	15	15	微小地震分布等に基づき設定		
微視的震源特性	すべり角 λ (°)	90		—	
	S波速度 β (km/s)	3.4		地震調査研究推進本部 (2005)	
	破壊伝播速度 V_r (km/s)	2.45		$V_r = 0.72 \cdot \beta$	
	剛性率 μ (N/m ²)	3.12×10^{10}		$\mu = \rho \cdot \beta^2$	
	密度 ρ (g/cm ³)	2.7		地震調査研究推進本部 (2005)	
	平均すべり量 D (cm)	100		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.2		$\Delta \sigma = (7 \cdot \pi^{1.5} / 16) \cdot (M_0 / S^{1.5})$	
	短周期レベル A (N・m/s ²)	1.38×10^{19}		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高域遮断特性 f_{max} (Hz)	8.3		香川ほか (2003) を参考に設定		
アスペリティ	面積 S_a (km ²)	115.5		$S_a = \pi \cdot r^2$, $r = (7 \cdot \pi \cdot M_0 \cdot \beta^2) / (4 \cdot A \cdot R)$ $R = (S / \pi)^{0.5}$	
	地震モーメント M_{0a} (N・m)	7.23×10^{18}		$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	
	平均すべり量 D_a (cm)	200		$D_a = \xi \cdot D$, $\xi = 2.0$	
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	23.5		$\Delta \sigma_a = (7 / 16) \times M_0 / (r^2 \cdot R)$	
背景領域	面積 S_b (km ²)	446.9		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント M_{0b} (N・m)	1.04×10^{19}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	平均すべり量 D_b (cm)	74.0		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
	実効応力 σ_b (MPa)	5.2		$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$ $\sigma_a = \Delta \sigma_a$	
その他の特性	破壊伝播形式	放射状		—	

表 6-19 震源を特定せず策定する地震動に関する検討対象地震

No.	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	M _w 6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	M _w 6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	M _w 6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	M _w 6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	M _w 6.1
6	1996年宮城県北部（鬼首）地震	1996/08/11, 03:12	M _w 6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	M _w 6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	M _w 5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	M _w 5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	M _w 5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	M _w 5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	M _w 5.8
13	2004年北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	M _w 5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	M _w 5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	M _w 5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	M _w 5.0

表 6-20 基準地震動 S_s-D1 の設計用応答スペクトル

応答スペクトル		コントロールポイント			
		A	B	C	D
S _s -D1H	周期 (s)	0.02	0.072	0.51	5
	速度 (cm/s)	2.0372	26.5	88.4	88.4
応答スペクトル		コントロールポイント			
		A	B	C	D
S _s -D1V	周期 (s)	0.02	0.072	0.51	5
	速度 (cm/s)	1.3687	17.7	59.0	59.0

表 6-21 基準地震動 S_s-D2 の設計用応答スペクトル

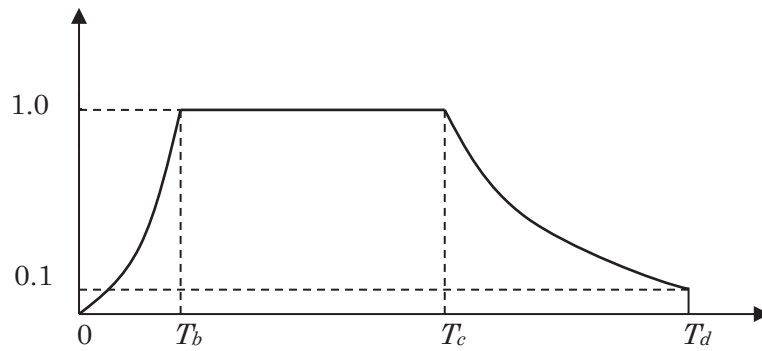
応答スペクトル		コントロールポイント							
		A	B	C	D	E	F	G	H
S _s -D2H	周期 (s)	0.02	0.032	0.04	0.064	0.08	0.22	0.56	5
	速度 (cm/s)	3.183	8.4	13.2	29.8	36.0	56.2	78.5	57.5
応答スペクトル		コントロールポイント							
		A	B	C	D	E	F		
S _s -D2V	周期 (s)	0.02	0.045	0.072	0.48	2	5		
	速度 (cm/s)	1.91	9.2	17.2	46.0	42.1	43.5		

表 6-22 基準地震動 S_s-D3 の設計用応答スペクトル

応答スペクトル		コントロールポイント							
		A	B	C	D	E	F	G	H
S _s -D3H	周期 (s)	0.02	0.035	0.056	0.088	0.49	2	5	
	速度 (cm/s)	2.5465	8.5	17.0	33.5	58.5	82.0	82.0	
応答スペクトル		コントロールポイント							
		A	B	C	D	E	F	G	H
S _s -D3V	周期 (s)	0.02	0.029	0.05	0.059	0.09	0.3	2.4	5
	速度 (cm/s)	1.5915	3.8	9.5	11.5	16.9	28.4	50.0	50.0

表 6-23 模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

模擬地震波	マグニチュード M	等価震源距離 X_{eq} (km)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
			T_b	T_c	T_d
Ss-D1H Ss-D1V	8.3	132	16.6	47.5	137.9
Ss-D2H Ss-D2V	7.5	72	6.6	24.3	72.0
Ss-D3H Ss-D3V	7.5	65	6.6	24.3	69.4



$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$

表 6-24 模擬地震波の作成結果

模擬地震波	作成条件		作成結果		
	応答スペクトル	応答スペクトル比		継続時間	SI 比
		最小値			
Ss-D1H	図 6-36 図 6-37 図 6-38	図 6-46 図 6-47 図 6-48	0.90	表 6-23	1.00
Ss-D1V			0.95		1.00
Ss-D2H			0.92		1.00
Ss-D2V			0.91		1.00
Ss-D3H			0.93		1.00
Ss-D3V			0.91		1.00

※応答スペクトルの減衰は 5%

$$SI \text{比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T)dT}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{Sv}(T)dT} : \text{応答スペクトル強さ}$$

$Sv(T)$: 基準地震動 Ss の模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{Sv}(T)$: 基準地震動 Ss の応答スペクトル (cm/s)

T : 固有周期 (s)

表 6-25 基準地震動 S s の最大加速度

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)	
		水平方向	鉛直方向
Ss-D1	プレート間地震の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	640	430
Ss-D2	海洋プレート内地震 (SMGA マントル内) の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	1,000	600
Ss-D3	海洋プレート内地震 (SMGA 地殻内) の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	800	500
Ss-F1	プレート間地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (応力降下量 (短周期レベル) の不確かさ)	717	393
Ss-F2	プレート間地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (SMGA 位置と応力降下量 (短周期レベル) の不確かさの重畳)	722	396
Ss-F3	海洋プレート内地震 (SMGA マントル内) の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (SMGA マントル内集約)	835	443
Ss-N1	2004 年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET 港町) の検討結果に保守性を考慮した地震動	620	320

※SMGA : 強震動生成域

表 6-26 プレート間地震の特定震源モデルの諸元

検討地震	Noda et al. (2002)		断層モデル手法		平均発生 間隔 (年)	備考
	地震規模	等価震源 距離 X _{eq} (km)	地震規模	断層長さ及び 断層幅 (km)		
東北地方 太平洋沖型地震	M8.1	76.3	M _w 9.0	500×200	600	更新過程
宮城県沖地震	M7.4	61.8	—	—	38	ポアソン過 程

表 6-27 内陸地殻内地震の特定震源モデルの諸元

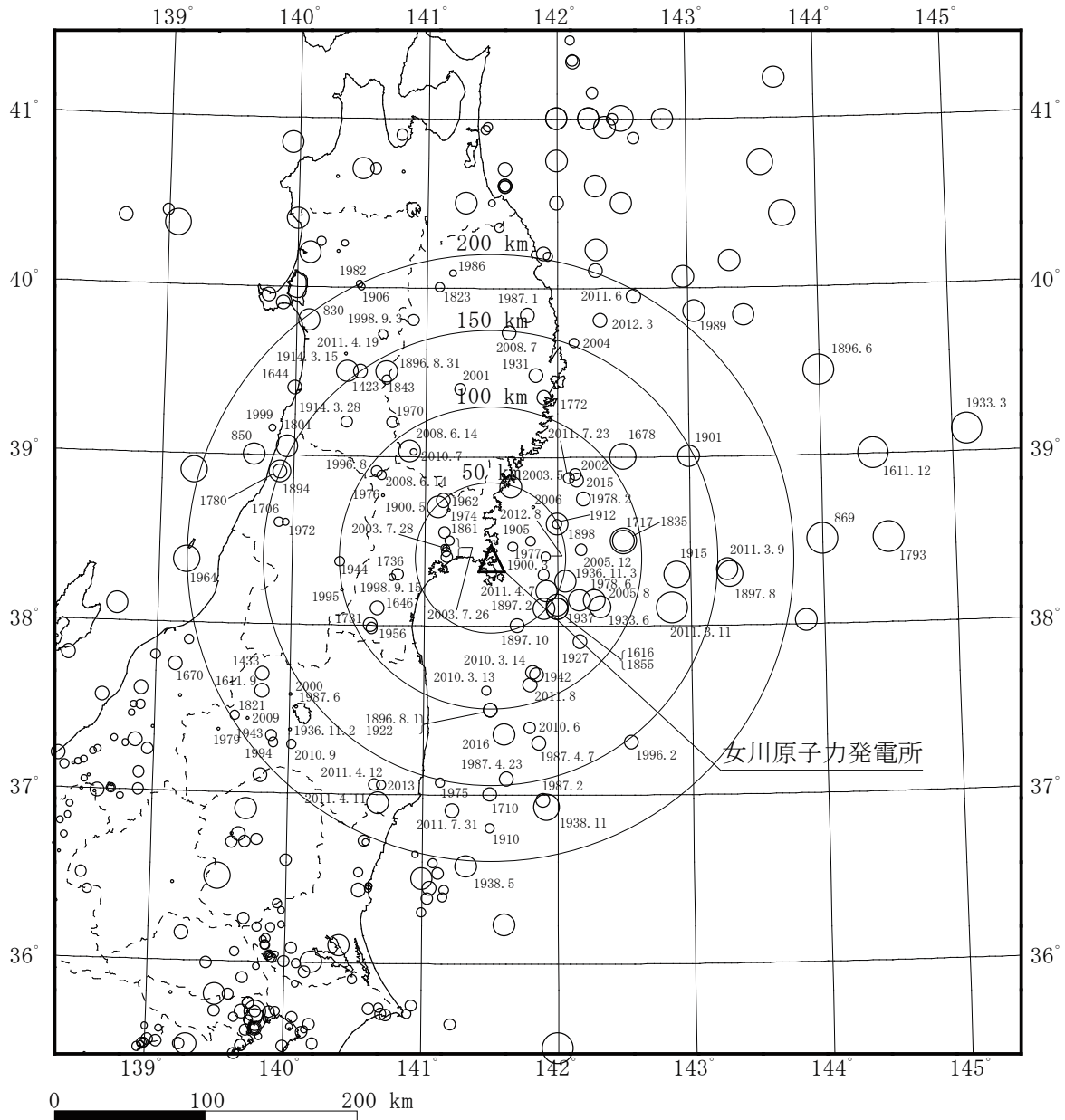
No.	断層名	M ^{※1}	等価震源距離 X _{eq} (km)	平均活動間隔 (年)
1	F-2断層・F-4断層	7.2	24	44,000
2	F-5断層	6.7	23	20,000
3	F-6断層～F-9断層	7.2	19	37,000
4	F-12断層～F-14断層 ^{※2}	7.1	32	38,000
5	f-13断層	6.7	17	20,000
6	f-14断層	6.7	23	20,000
7	f-15断層	6.7	24	20,000
8	F-15断層・F-16断層 ^{※2}	7.5	39	61,000
9	網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	6.7	27	20,000
10	Ⅲ断層	7.5	86	65,000
11	Ⅳ断層	7.6	82	68,000
12	Ⅴ断層	7.3	91	49,000
13	加護坊山-籠岳山断層 ^{※3}	6.9	36	27,000
14	旭山撓曲・須江断層 ^{※3}	6.8	28	25,000
15	2003年宮城県中部の地震 南部セグメント断層 ^{※3}	6.7	28	20,000
16	1962年宮城県北部地震震源断層 ^{※4}	6.7	48	20,000
17	1900年宮城県北部の地震	7.0	51	31,000
18	長町-利府線断層帯	7.5	61	3,000
19	北上低地西縁断層帯 ^{※4}	8.2	92	20,000
20	山形盆地断層帯	7.8	118	2,500
21	福島盆地西縁断層帯	7.9	101	9,000
22	双葉断層	8.2	87	17,000
23	横手盆地東縁断層帯	7.7	125	3,400
24	鬼首断層	6.7	87	2,000
25	愛子断層	6.7	67	2,000
26	作並屋敷平断層	6.7	79	20,000
27	遠刈田断層	6.7	88	20,000
28	鶴巻田断層	6.7	92	2,000
29	尾花沢断層	6.7	98	2,000
30	楯岡断層	6.7	96	2,000
31	新山寺境ノ目断層	6.7	99	2,000
32	田沢一里断層	6.7	100	2,000

※1 松田（1975）等により算定。

※2 仙台湾の断層群による地震として連動を考慮
(M7.6, X_{eq}=28km, 活動間隔68,000年)

※3 石巻平野周辺の断層群による地震として連動を考慮
(M7.6, X_{eq}=31km, 活動間隔69,000年)

※4 北上低地帯～宮城県北部の断層群による地震として連動を考慮
(M8.2, X_{eq}=78km, 活動間隔166,000年)



地震諸元は、1922年以前の地震については「日本被害地震総覧」に、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」による。また、地震諸元に幅のあるものは、中央値を用いている。

- 8.0 ≤ M
- 7.5 ≤ M < 8.0
- 7.0 ≤ M < 7.5
- 6.5 ≤ M < 7.0
- 6.0 ≤ M < 6.5
- 5.5 ≤ M < 6.0
- 5.0 ≤ M < 5.5
- ・ M < 5.0

図 2-1 敷地周辺における主な被害地震の震央分布

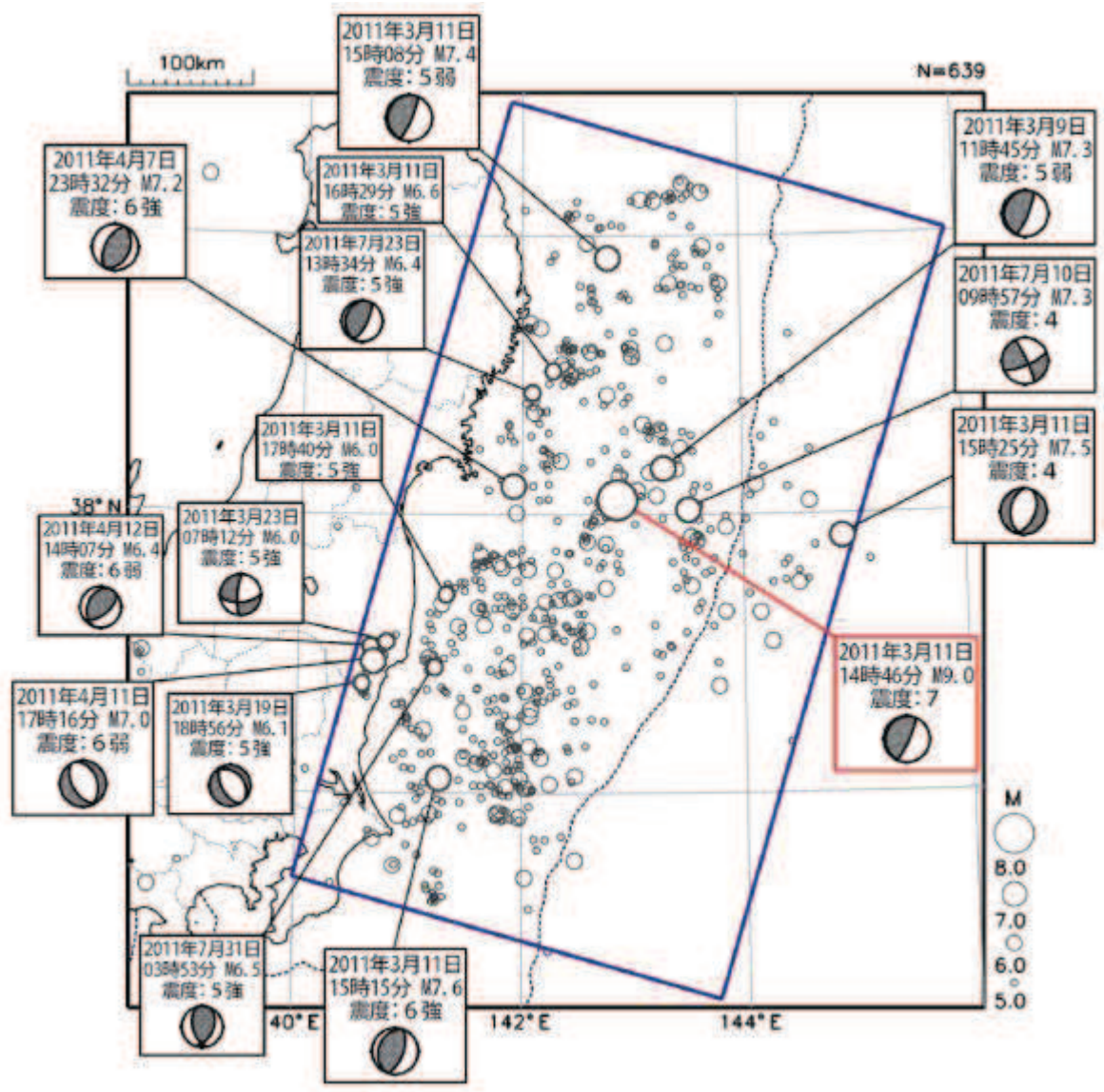
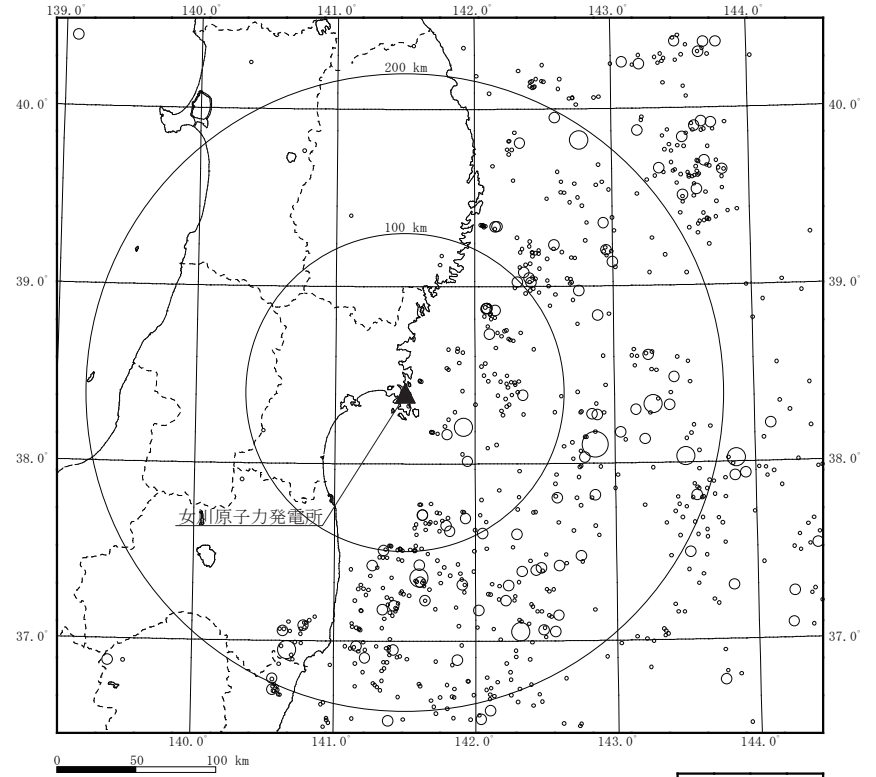
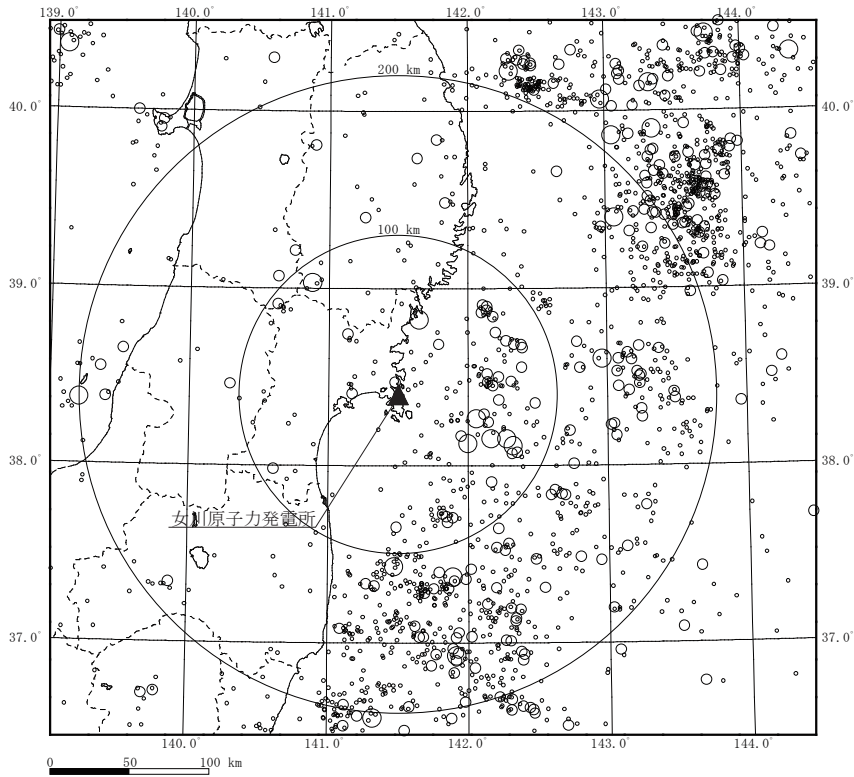


図 2-2 2011 年東北地方太平洋沖地震とその余震の分布

(気象庁 (2012) ⁽¹⁰⁾ による。)

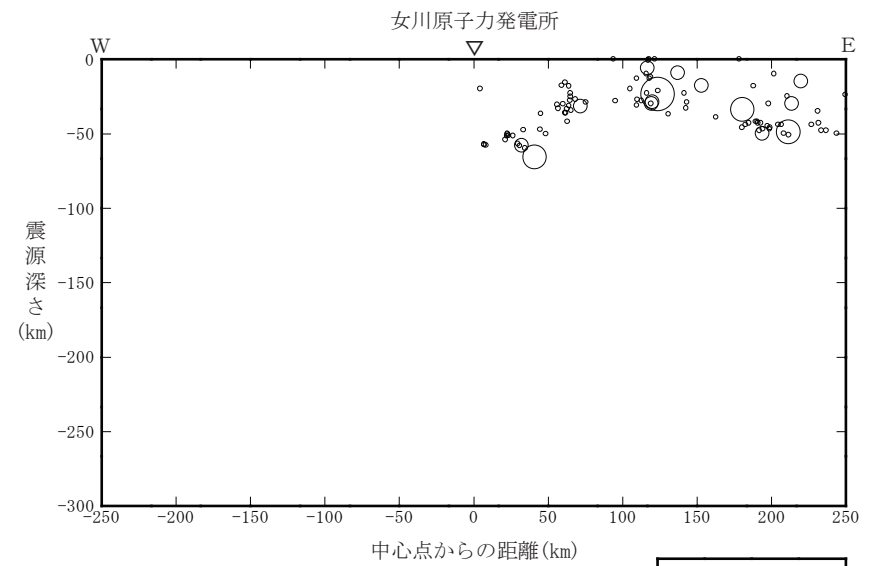
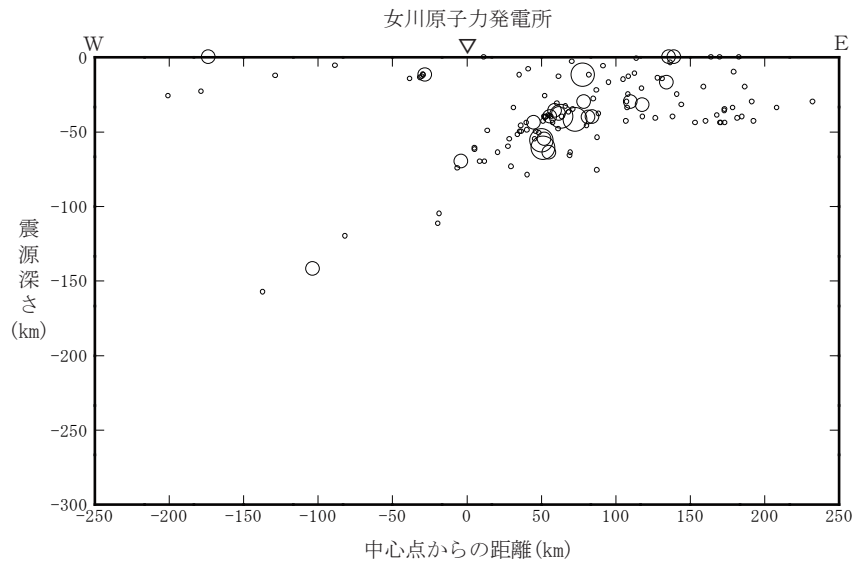


地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。

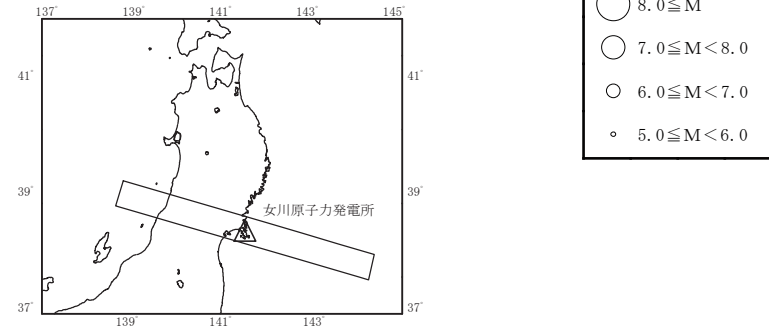
(1923年～2011年2月)

(2011年3月～2017年4月)

図2-3 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の震央分布



〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕



(1923年～2011年2月)

(2011年3月～2017年4月)

図 2-4 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の震源鉛直分布

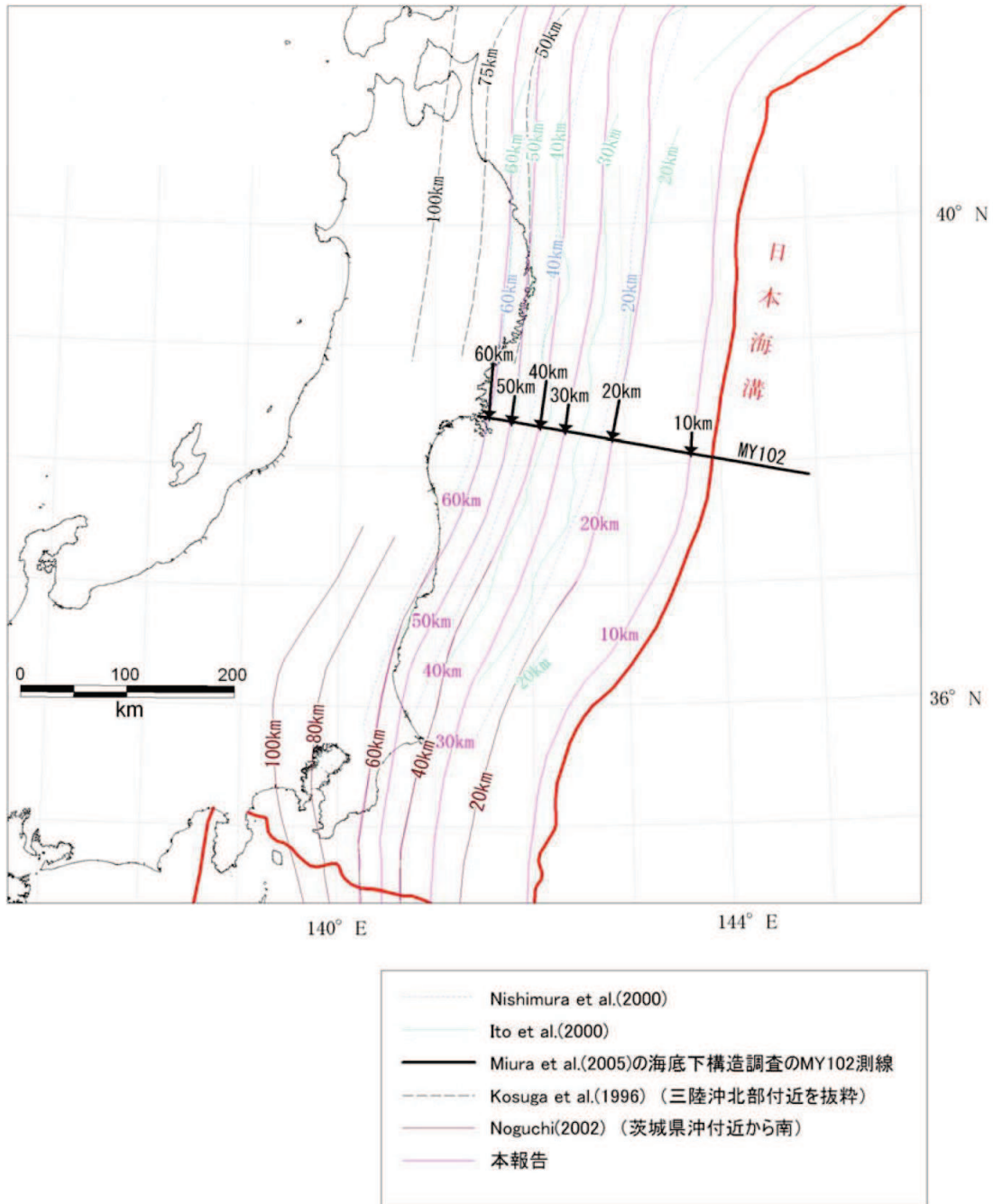
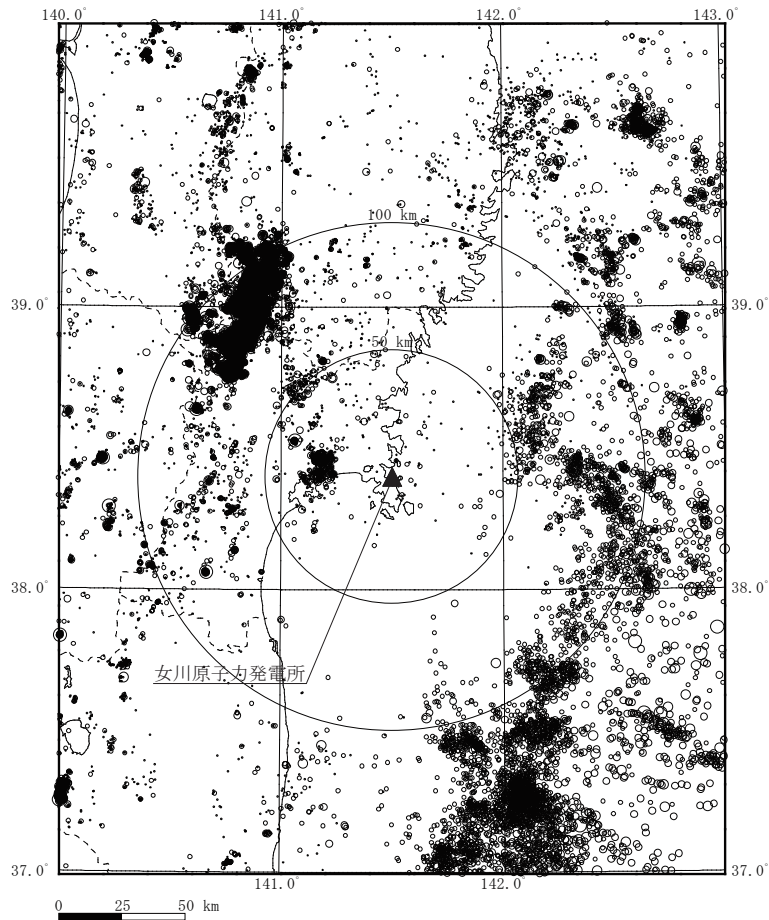


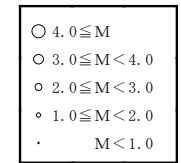
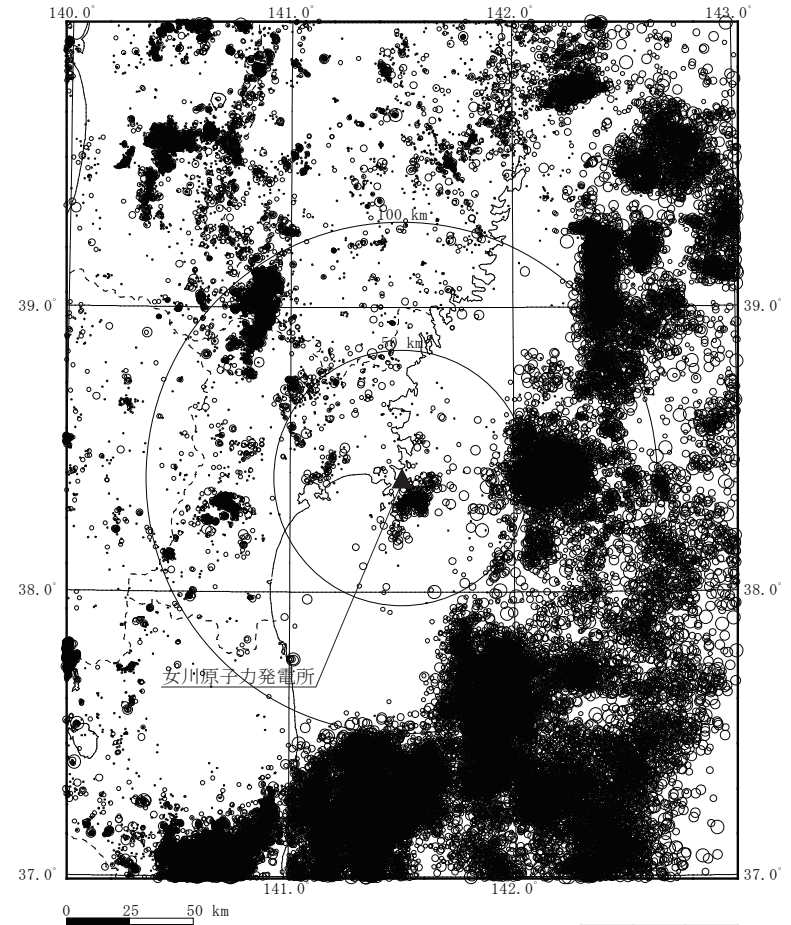
図 2-5 微小地震の震源分布等に基づくプレート境界面の
推定等深線図

(地震調査研究推進本部 (2012a) ⁽¹⁵⁾による。)



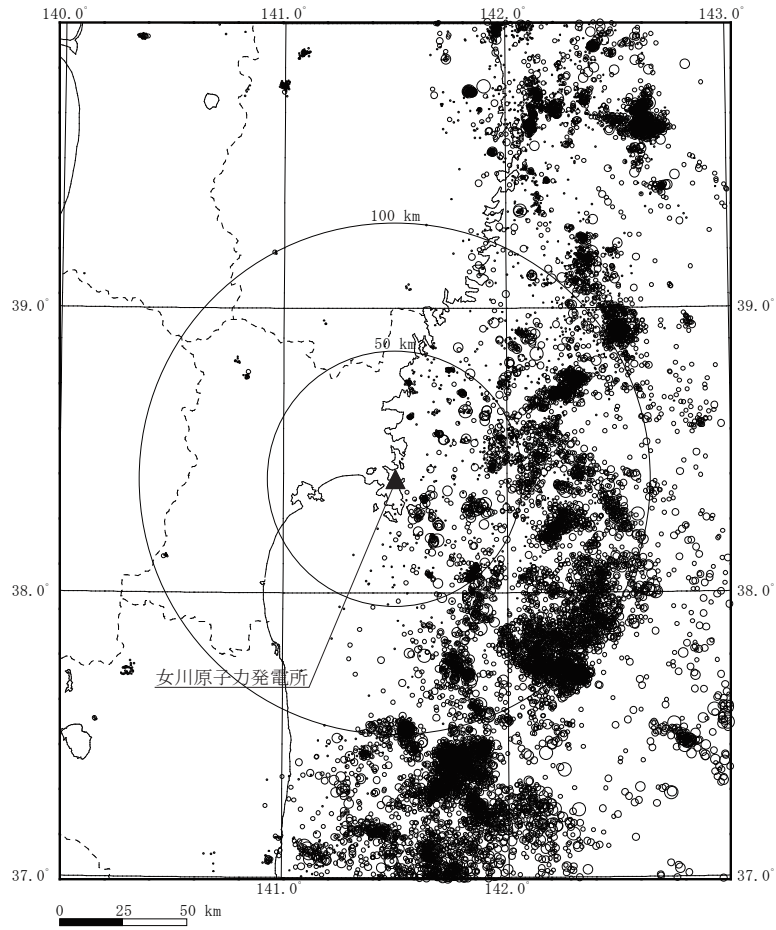
〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕

(2008年～2011年2月)



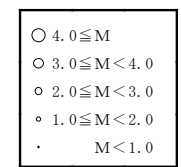
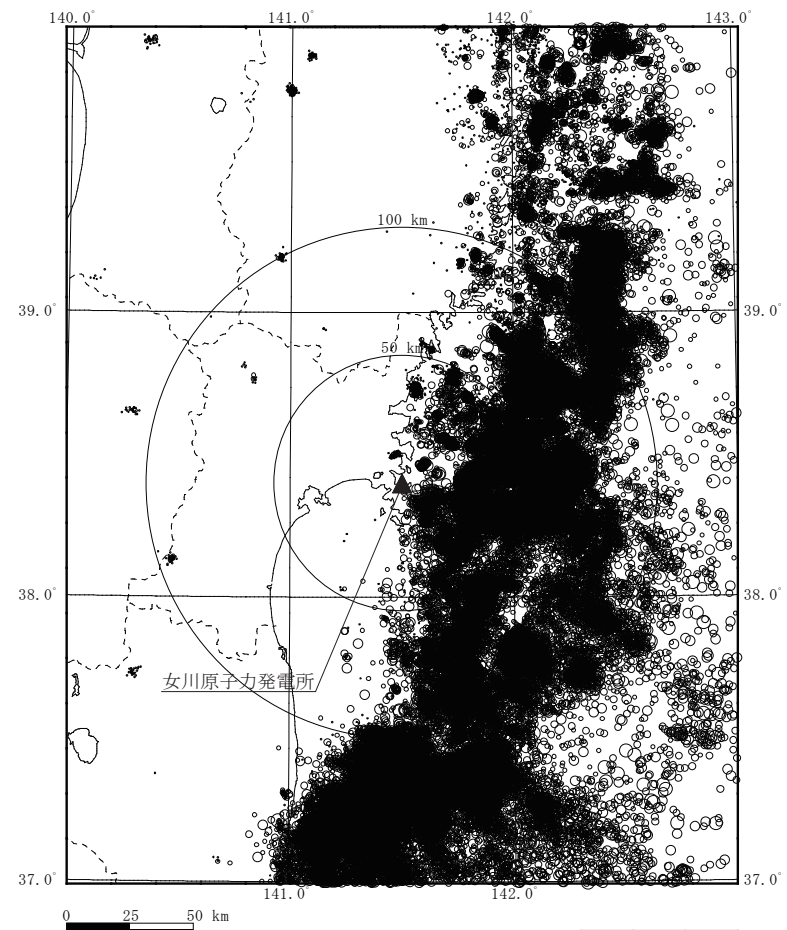
(2011年3月～2017年4月)

図 2-6(1) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ0km~30km)



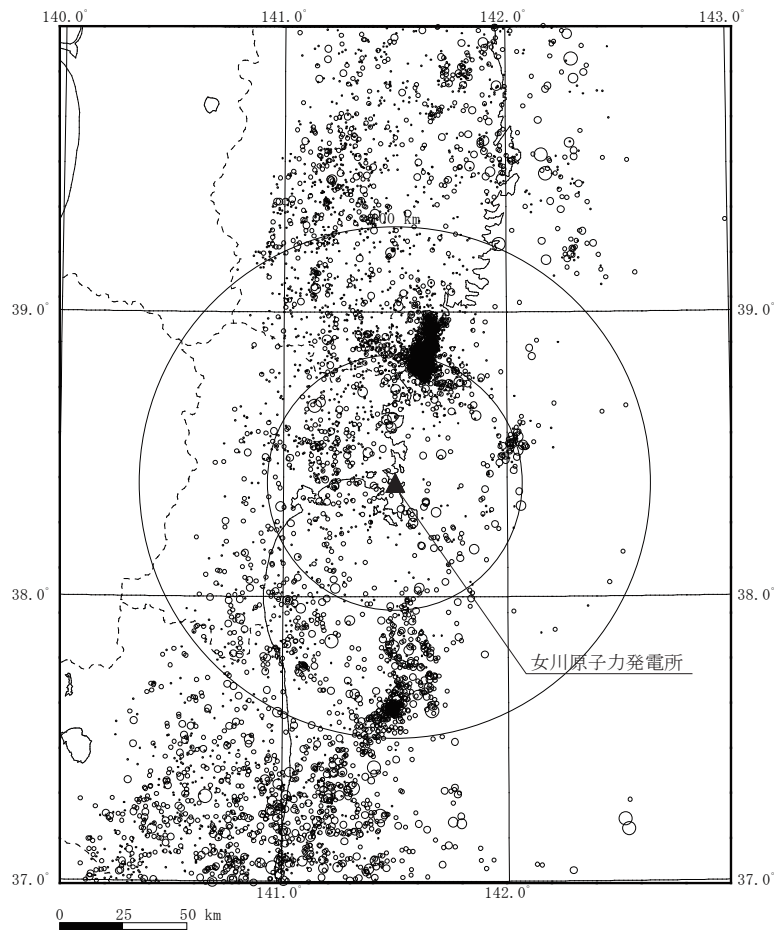
〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕

(2008年～2011年2月)



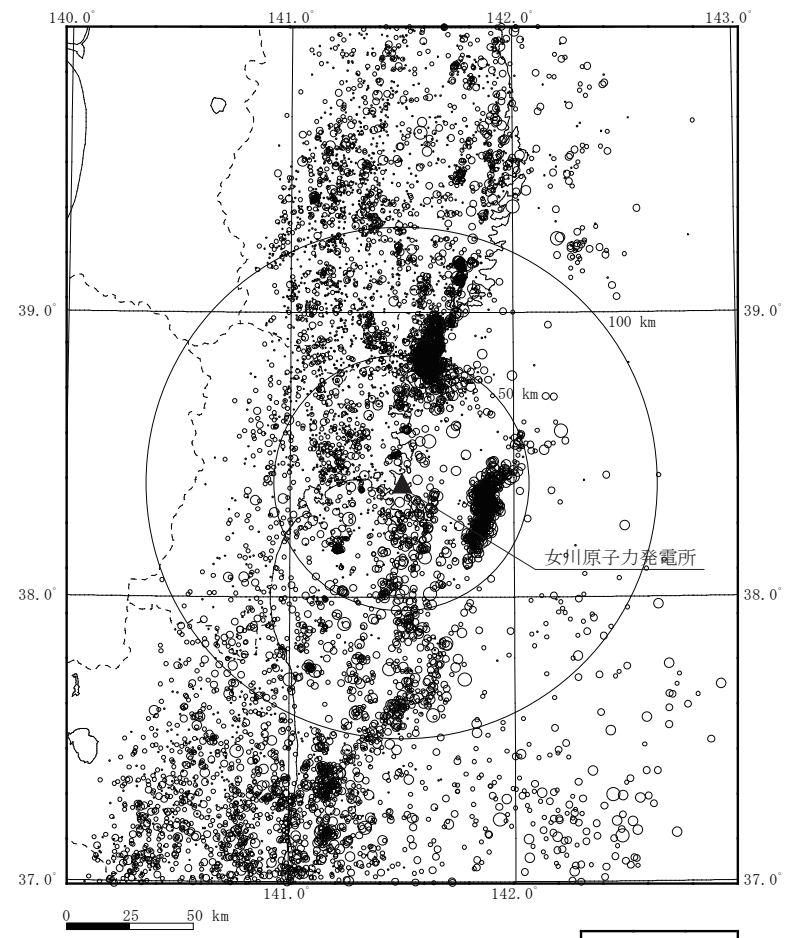
(2011年3月～2017年4月)

図 2-6(2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ30km～60km)



〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕

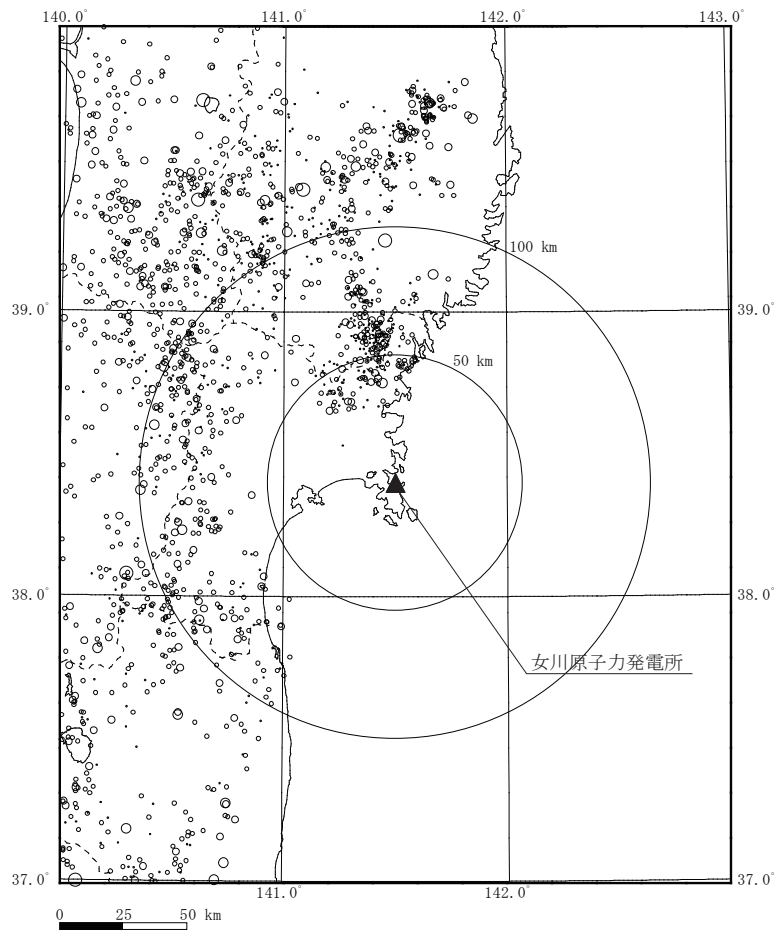
(2008年～2011年2月)



(2011年3月～2017年4月)

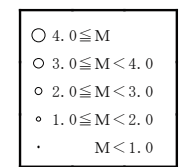
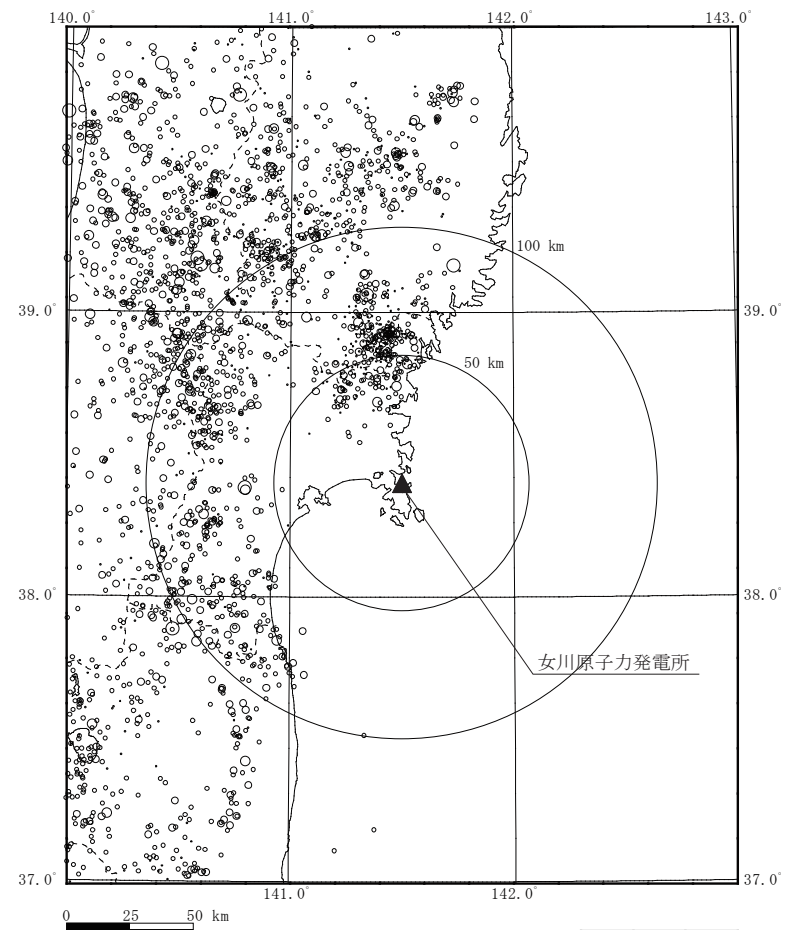
- 4.0 ≤ M
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- ・ M < 1.0

図 2-6(3) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ60km~100km)



〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕

(2008年～2011年2月)



(2011年3月～2017年4月)

図 2-6(4) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ100km以深)

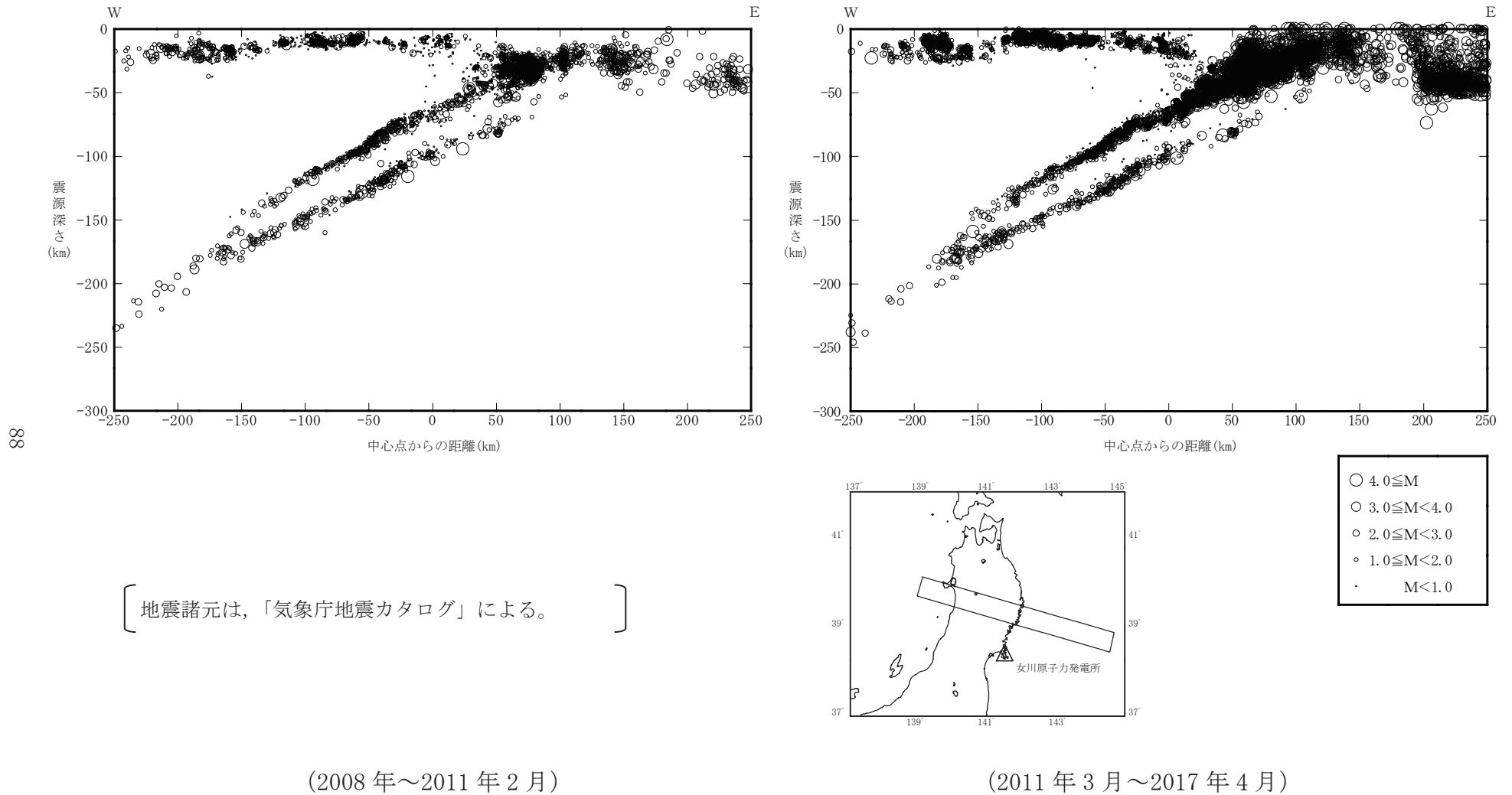
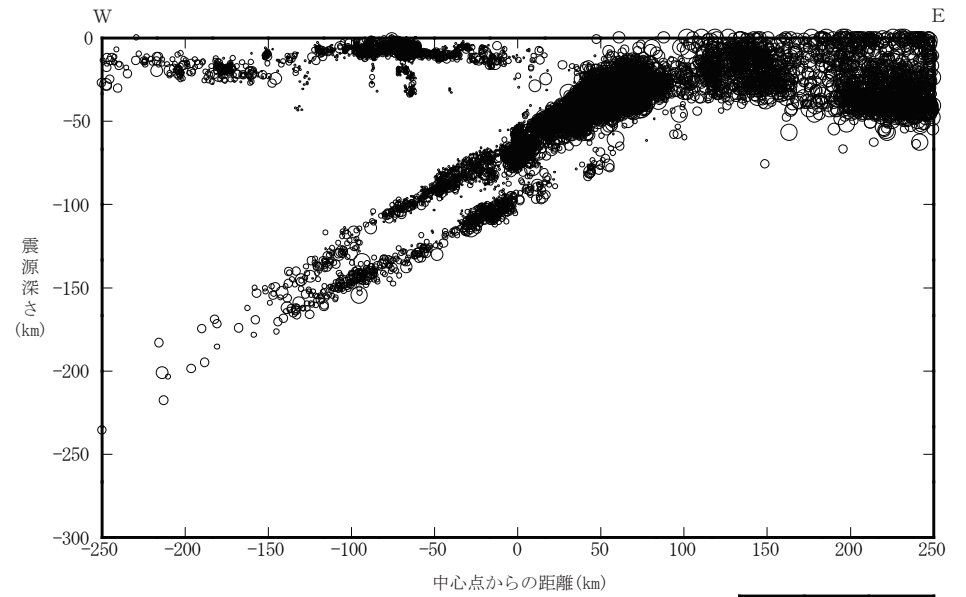
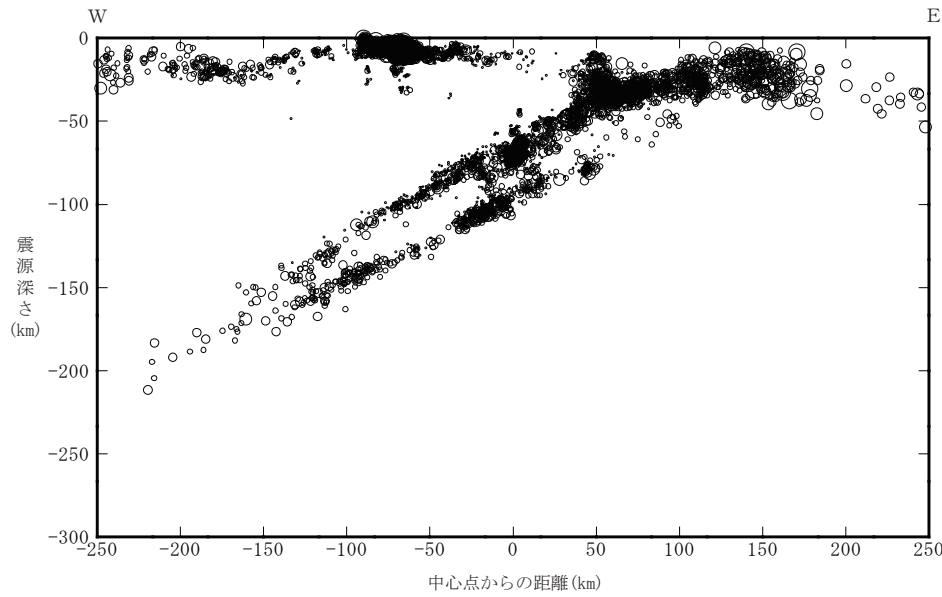
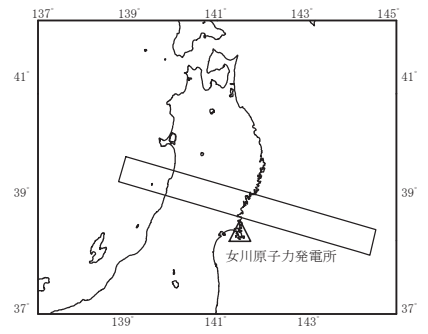
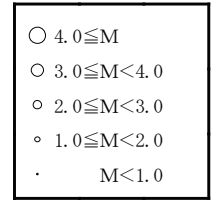


図 2-7(1) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震源鉛直分布(その1)



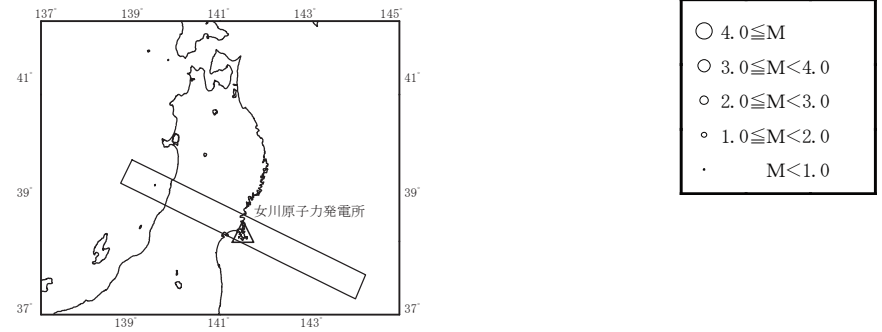
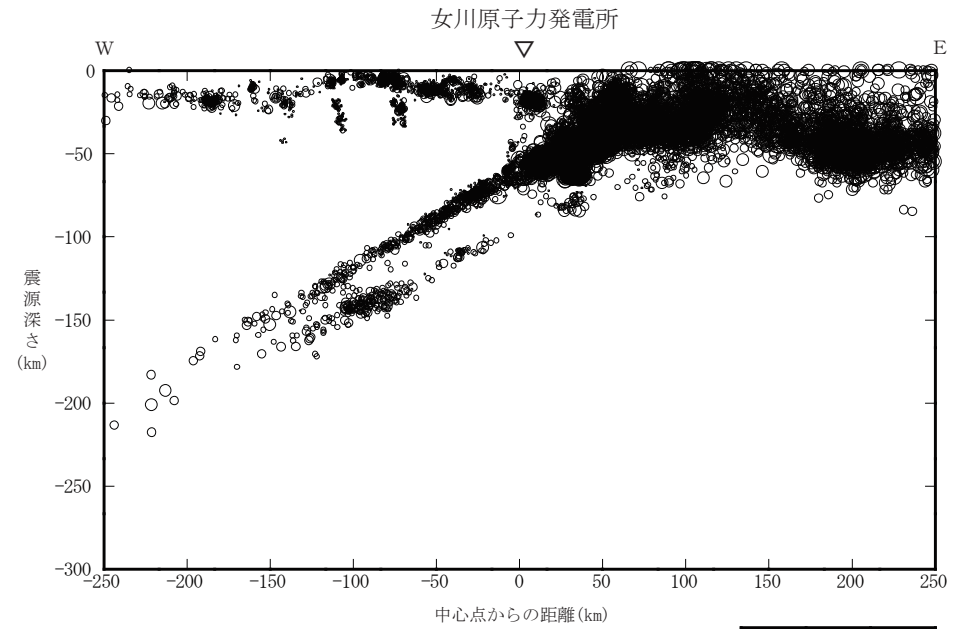
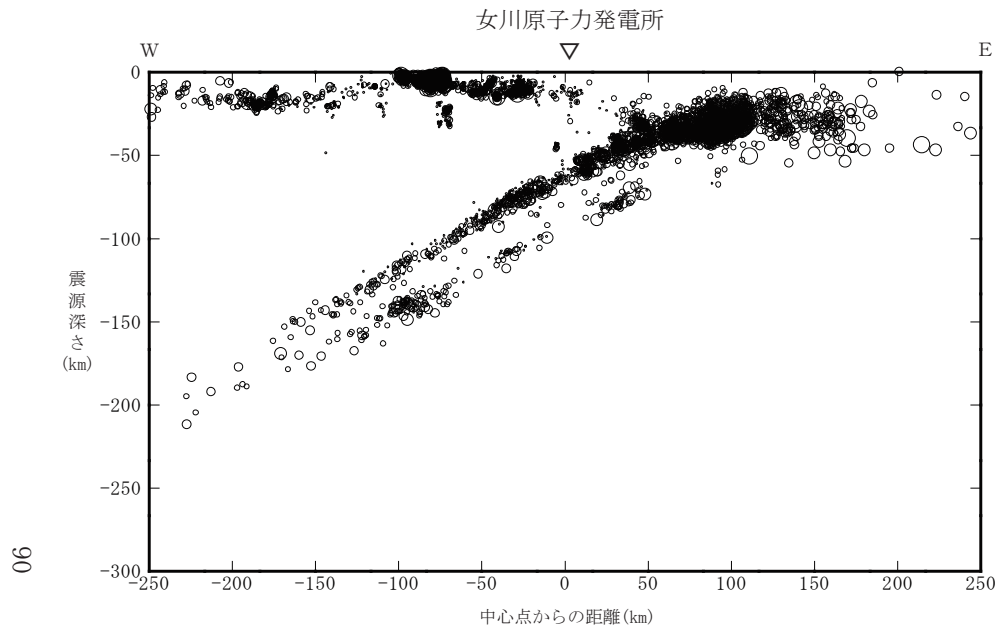
地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。



(2008年～2011年2月)

(2011年3月～2017年4月)

図 2-7(2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震源鉛直分布 (その2)

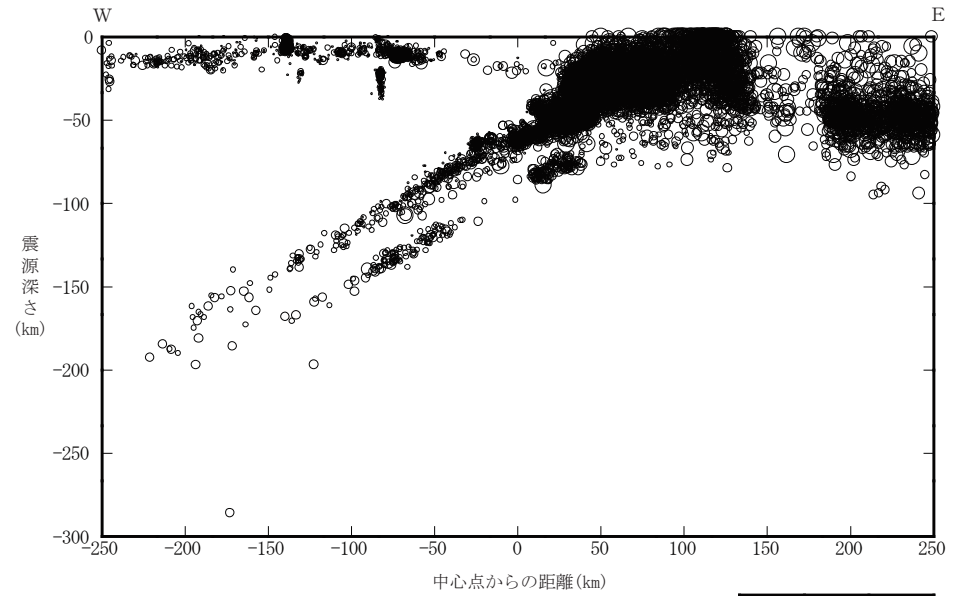
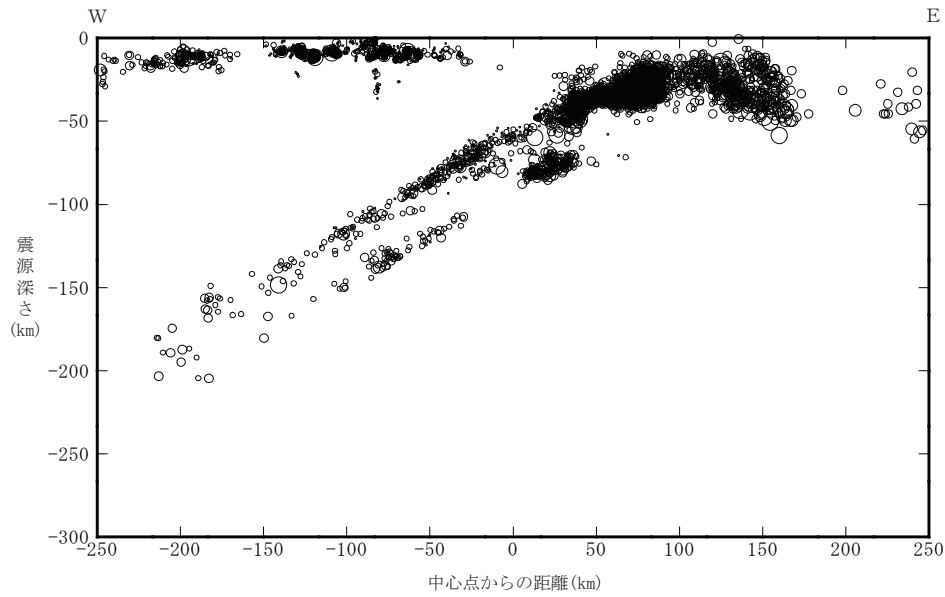


〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕

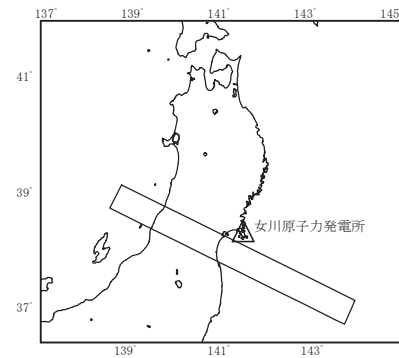
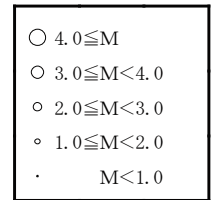
(2008年～2011年2月)

(2011年3月～2017年4月)

図 2-7(3) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震源鉛直分布 (その3)



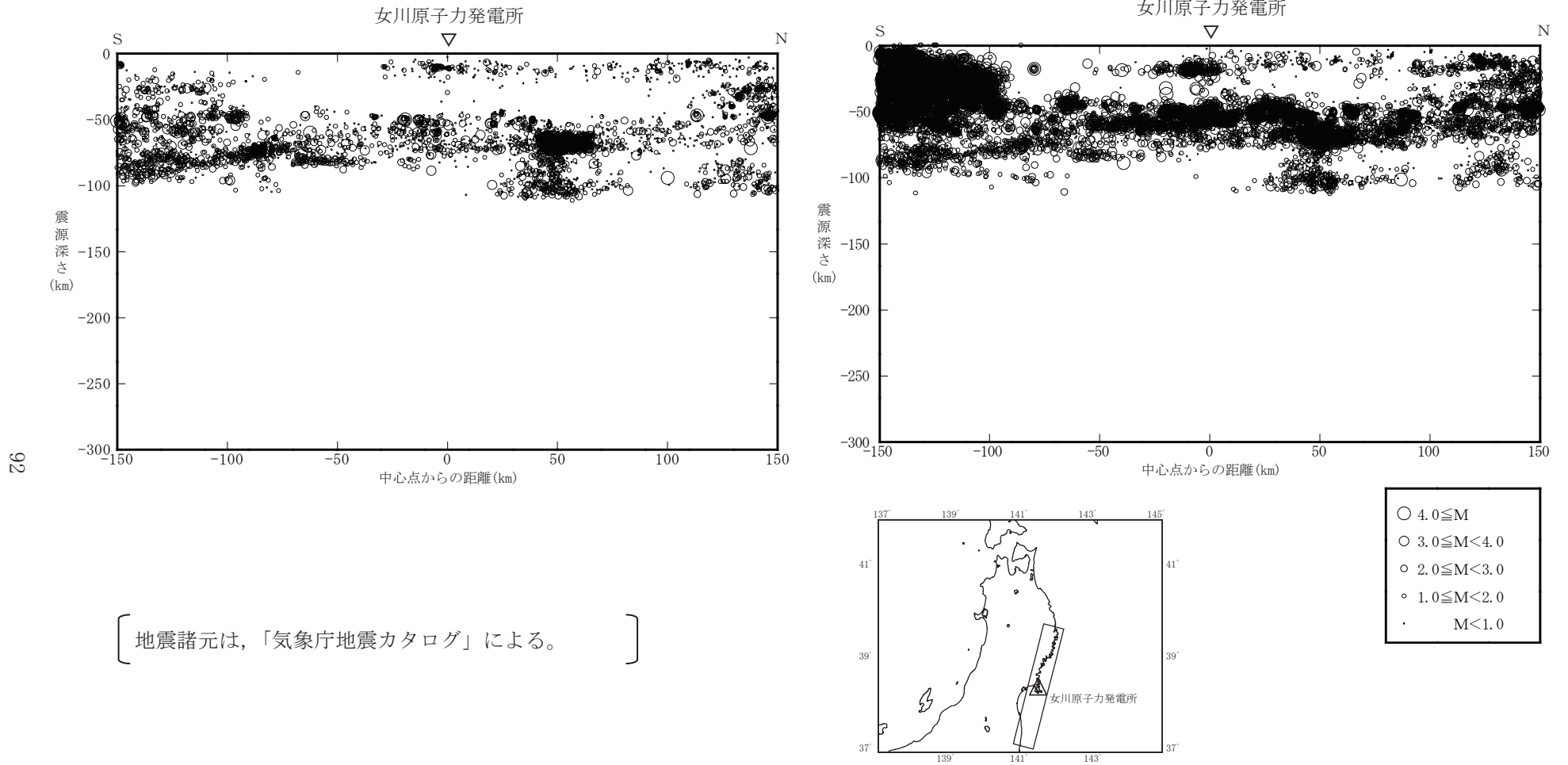
〔地震諸元は、「気象庁地震カタログ」による。〕



(2008年～2011年2月)

(2011年3月～2017年4月)

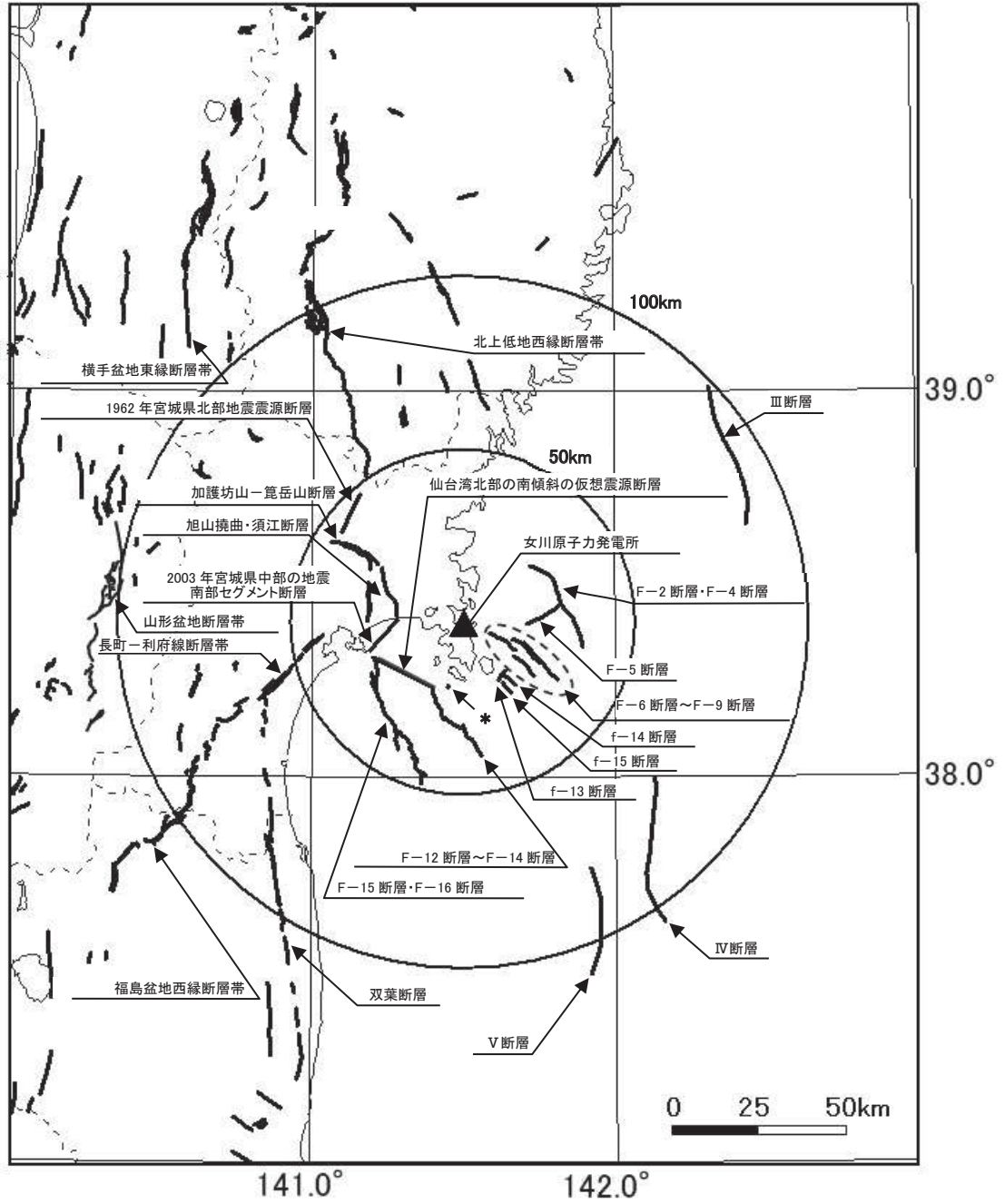
図2-7(4) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震源鉛直分布(その4)



(2008年～2011年2月)

(2011年3月～2017年4月)

図 2-7(5) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震源鉛直分布 (その5)



* : 一測線のみで認められる断層

図 3-1 敷地周辺における主な活断層分布

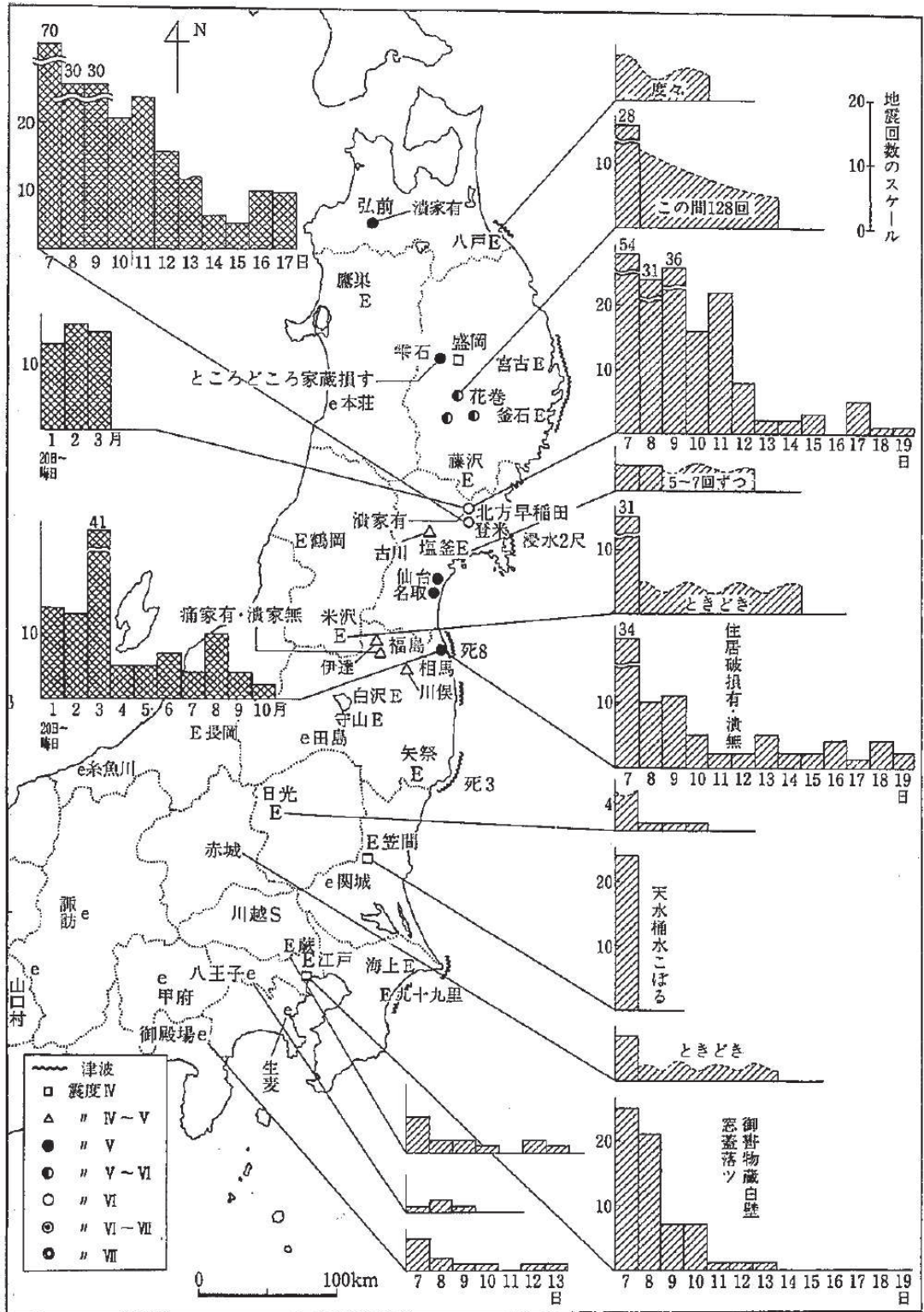


図 4-1(1) 過去に発生した地震の震度分布

1793年陸前・陸中・磐城の地震 (M8.2, Δ=262km)

(日本被害地震総覧による。)

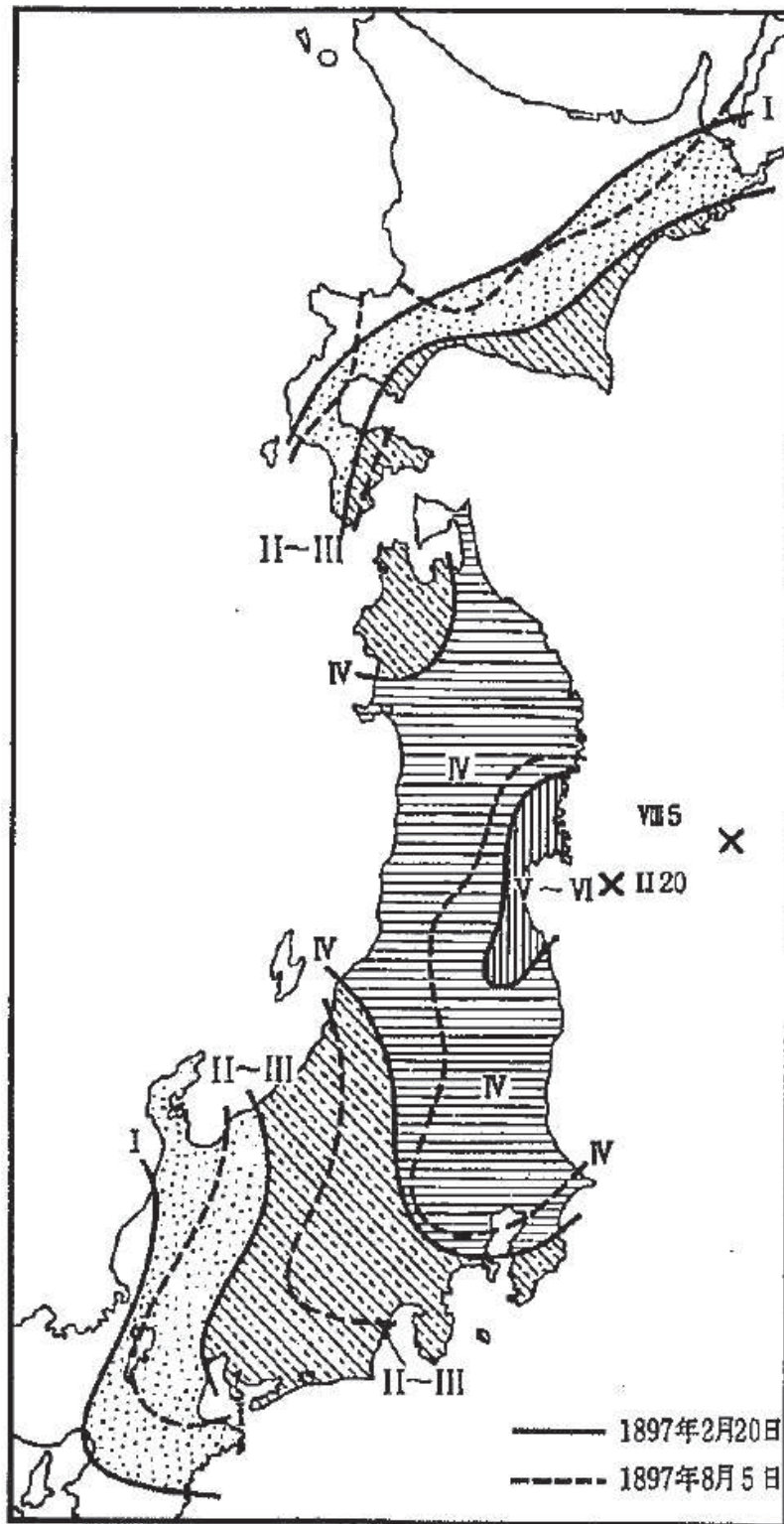


図 4-1(2) 過去に発生した地震の震度分布
1897年2月20日仙台沖の地震 (M7.4, $\Delta=48\text{km}$)
(日本被害地震総覧による。)



図 4-1(3) 過去に発生した地震の震度分布

1905年岩手県沖の地震 (M5.9, $\Delta=28\text{km}$)

(日本被害地震総覧による。)

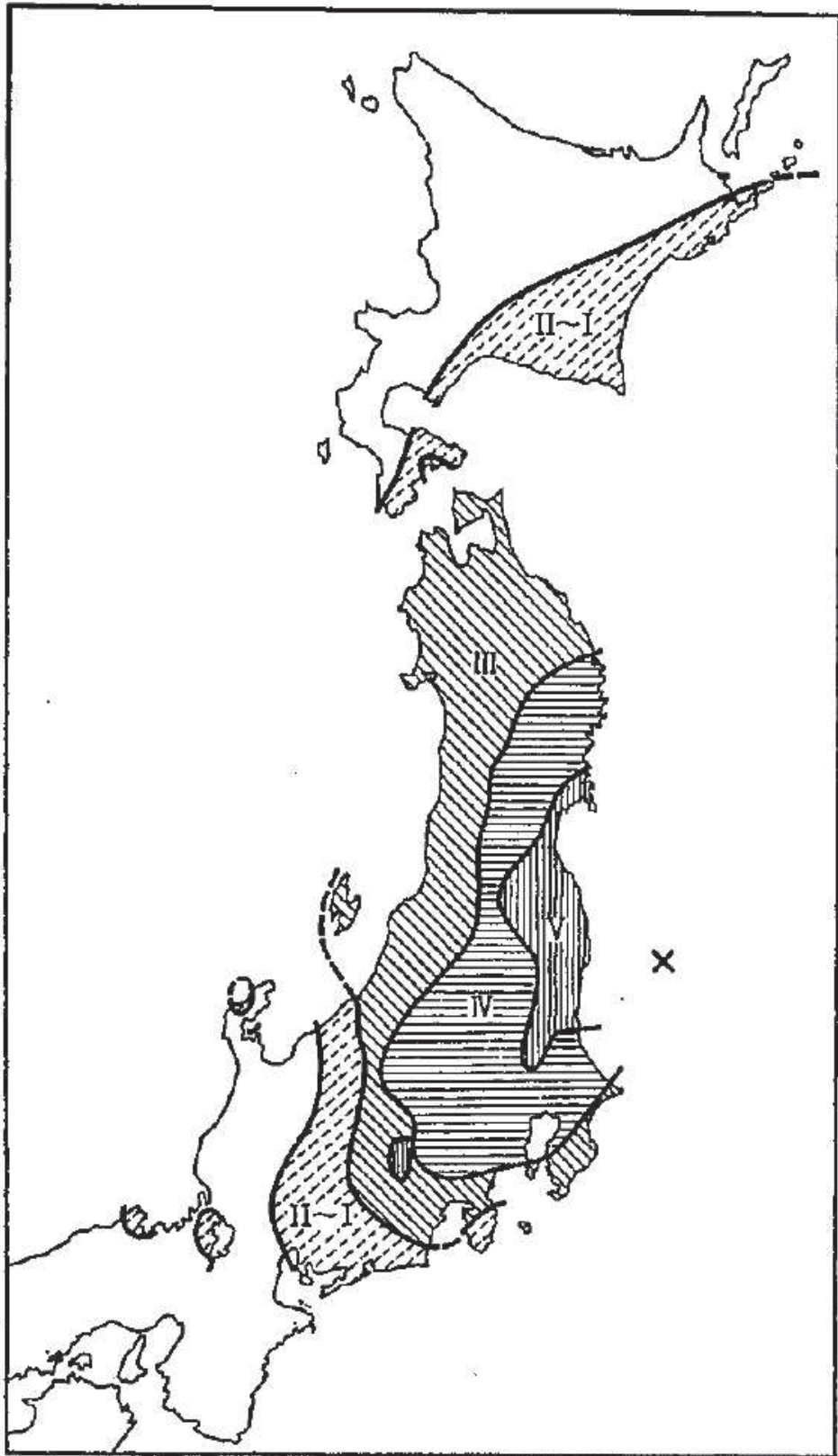


図 4-1(4) 過去に発生した地震の震度分布
1938年福島県東方沖地震 (M7.5, $\Delta=168\text{km}$)
(日本被害地震総覧による。)

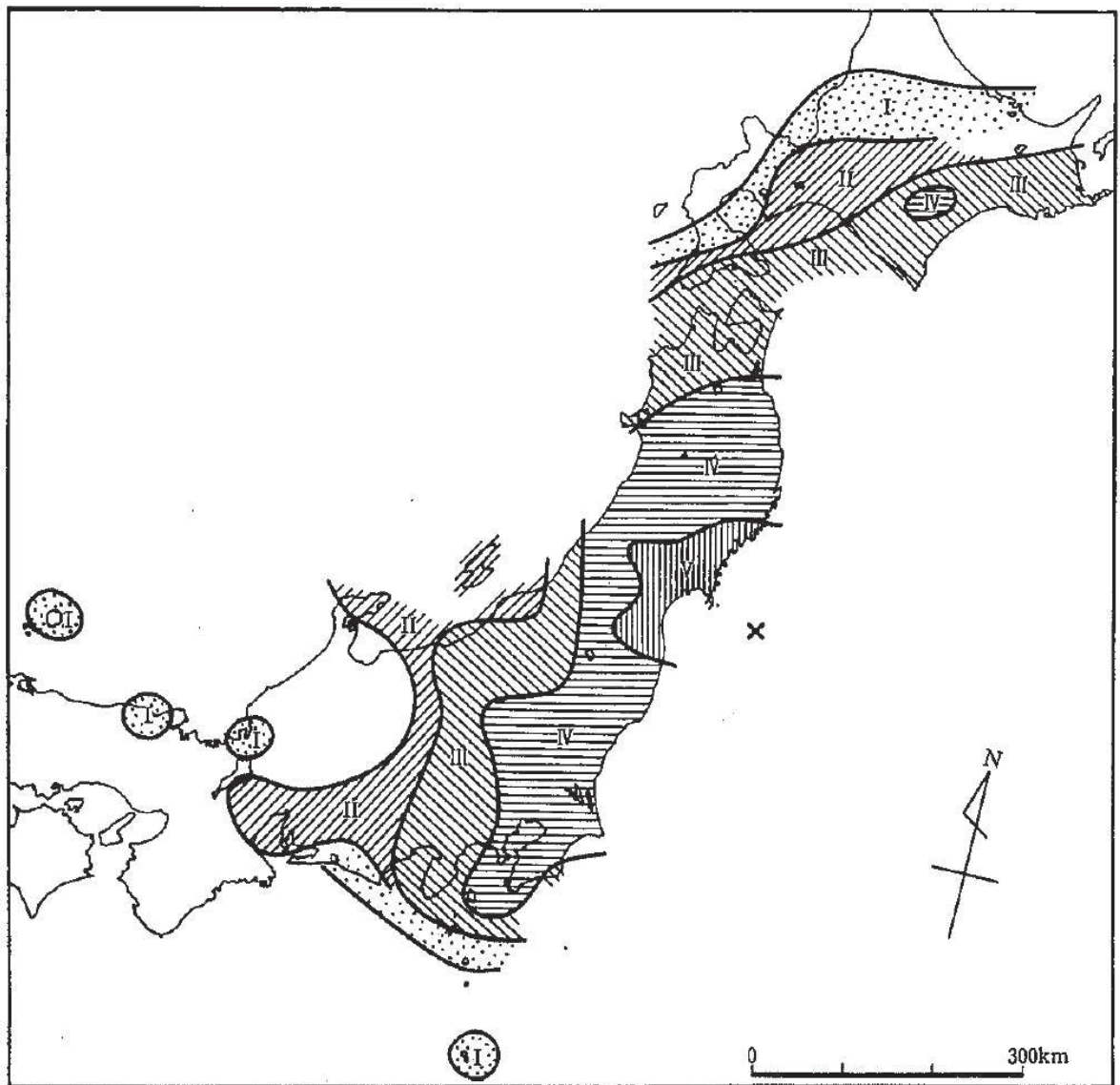


図 4-1(5) 過去に発生した地震の震度分布

1978年宮城県沖地震 (M7.4, $\Delta=65\text{km}$)

(日本被害地震総覧による。)

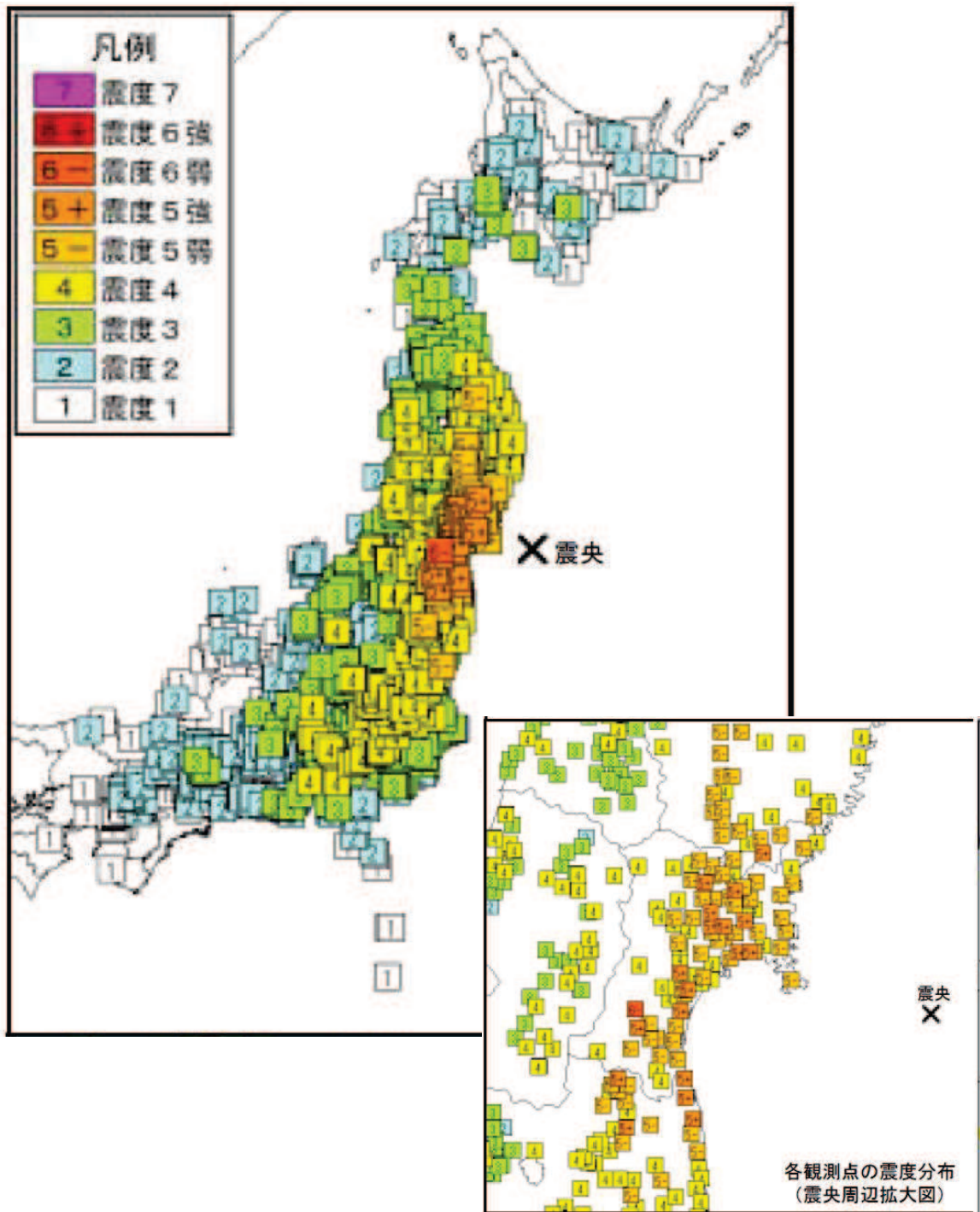


図 4-1(6) 過去に発生した地震の震度分布

2005 年宮城県沖の地震 (M7.2, $\Delta=73\text{km}$)

(気象庁 (2005) ⁽¹⁸⁾による。)

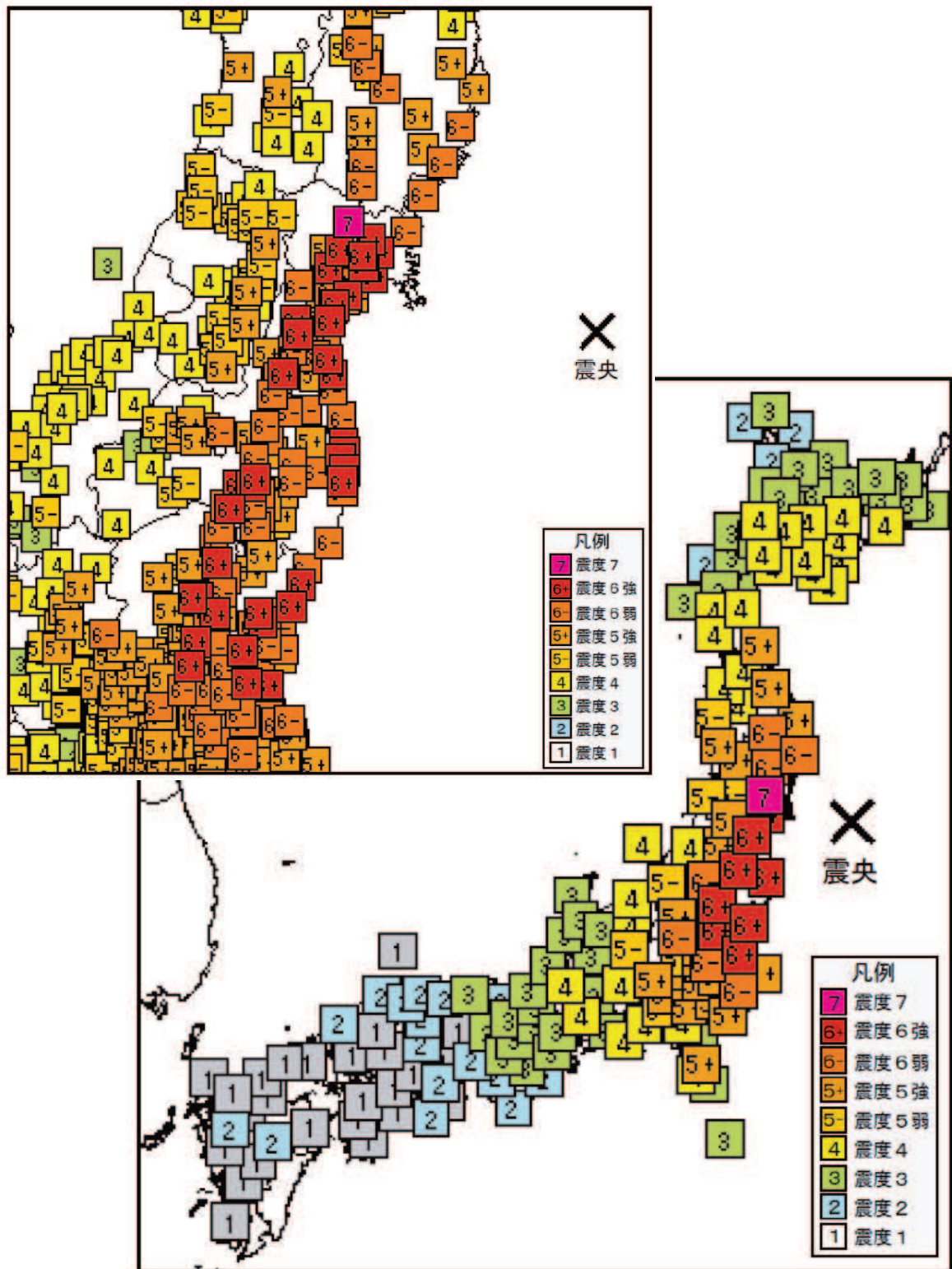
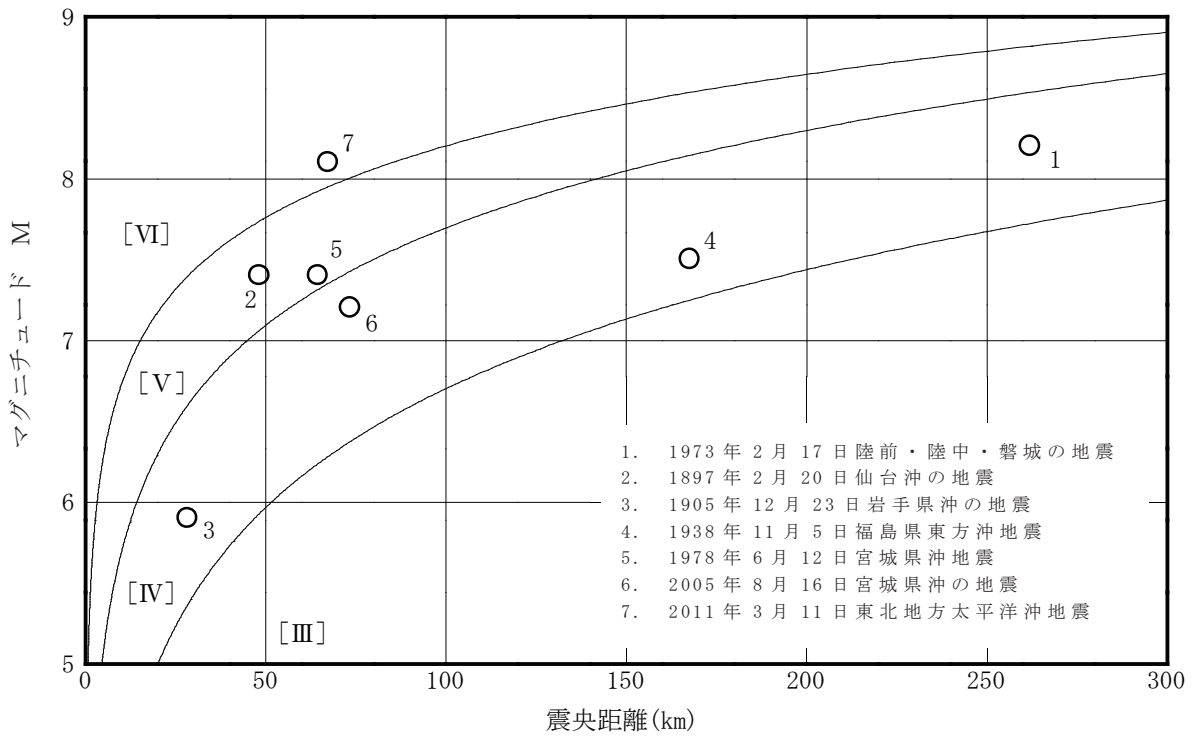


図 4-1(7) 過去に発生した地震の震度分布

2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0, Δ=124km)

(気象庁(2012)による。)



・ [Ⅲ]～[Ⅵ]は，1996年以前の気象庁震度階で，震度階の境界線は，村松（1969）⁽¹⁹⁾及び勝又・徳永（1971）⁽²⁰⁾による。地震諸元が幅をもって示されている場合は，その中央値を採用。

・ 2011年東北地方太平洋沖地震は神田ほか（2012）⁽²¹⁾による震度インバージョンによる値。

図 4-2 プレート間地震のマグニチュード (M) - 震央距離 (△)

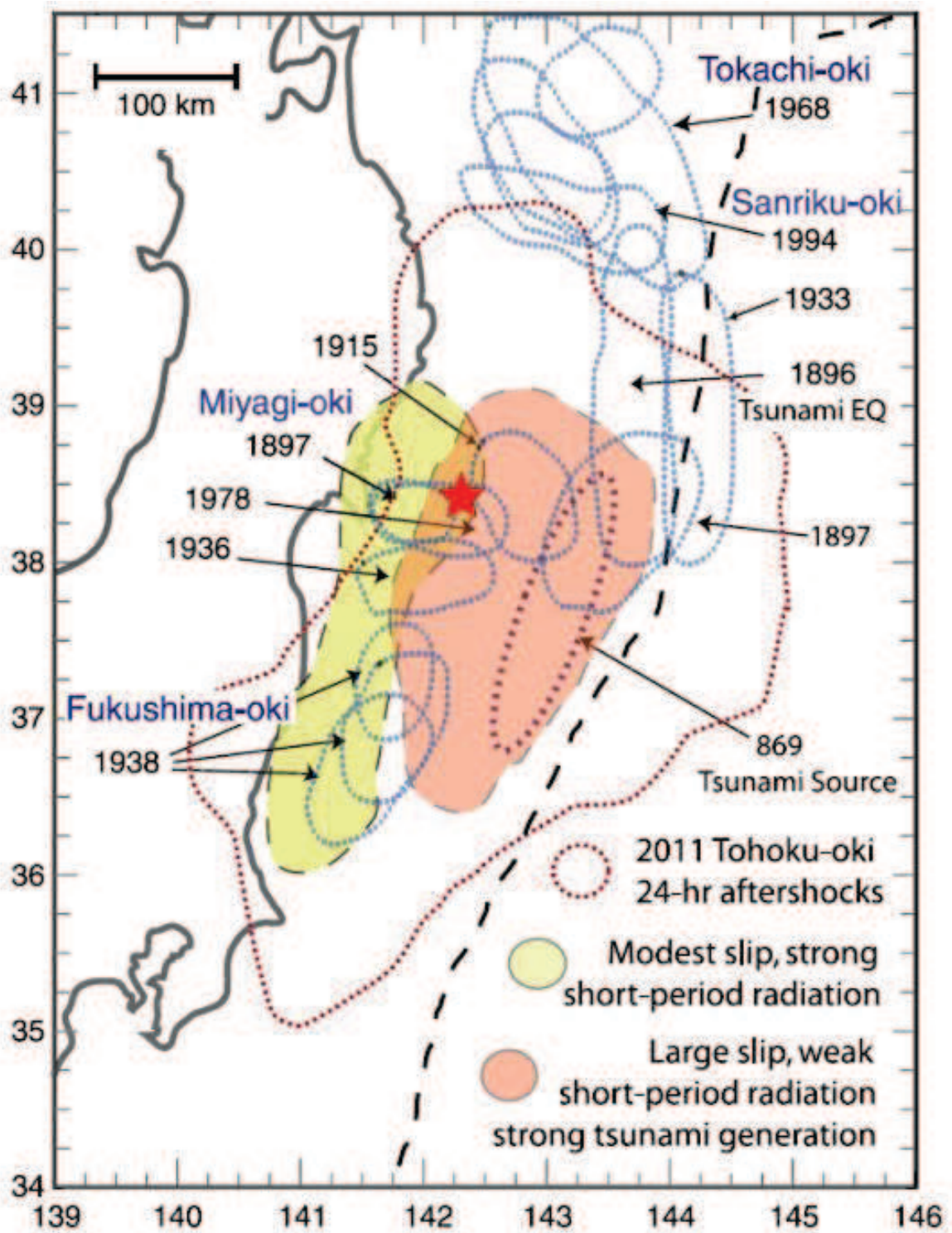


図 4-3 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震（本震発生から 1 日の間）が発生した領域と過去に発生した地震の震源域

(Koper et al. (2011) ⁽²²⁾ による。)

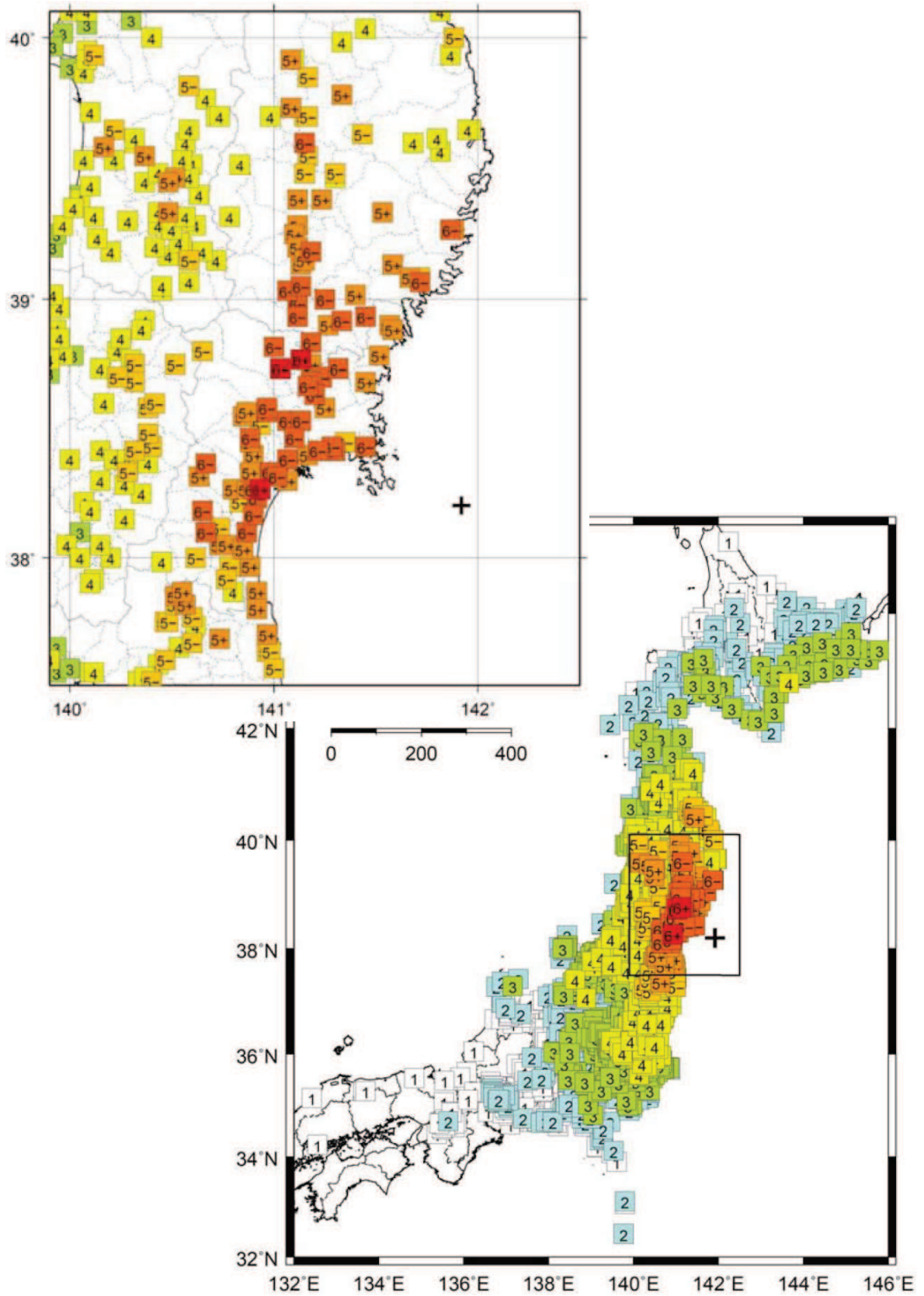


図 4-4 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震の震度分布

(気象庁 (2011) ⁽²⁶⁾ による。)

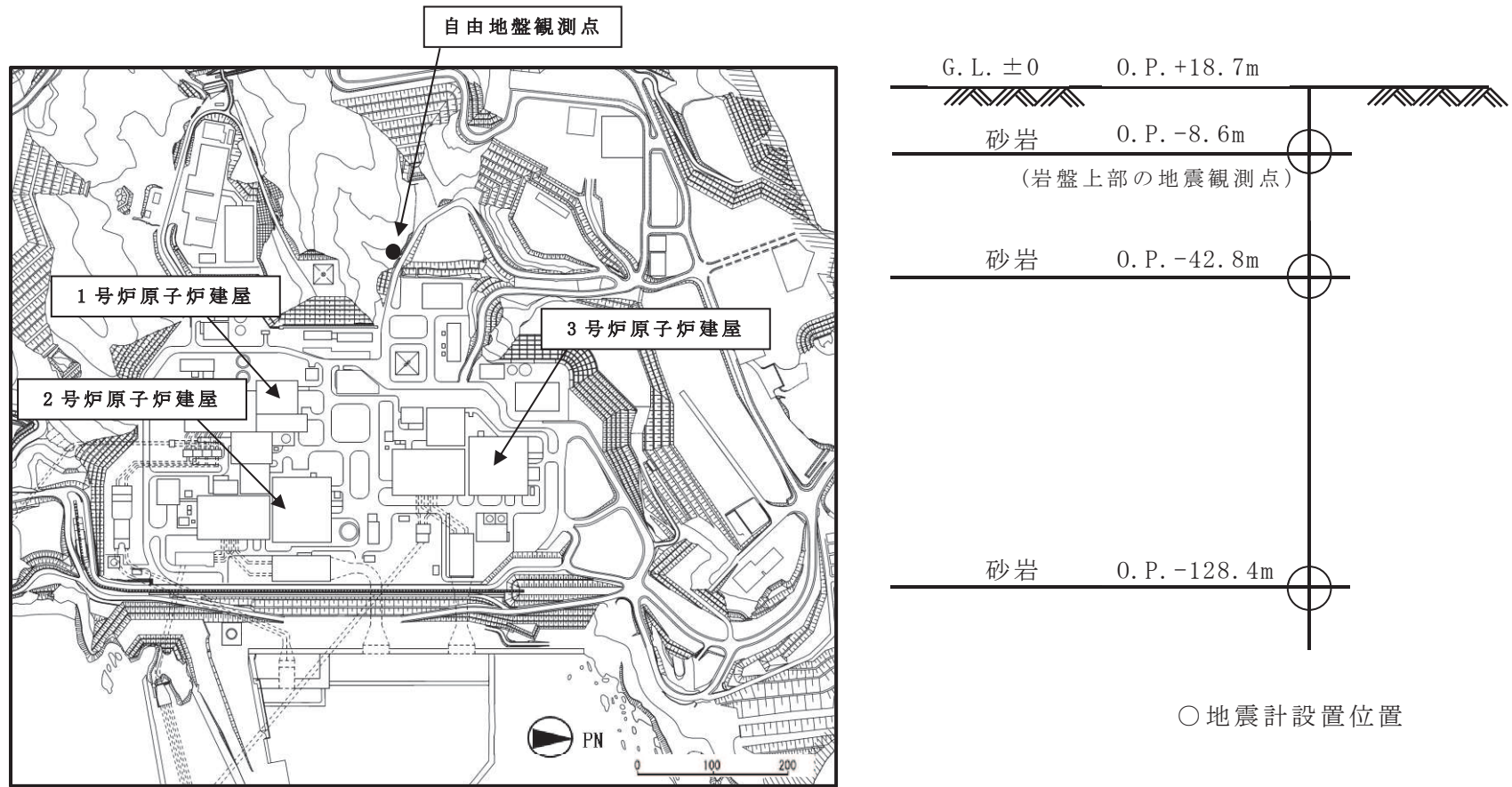


図5-1 敷地地盤における地震観測点（自由地盤観測点）

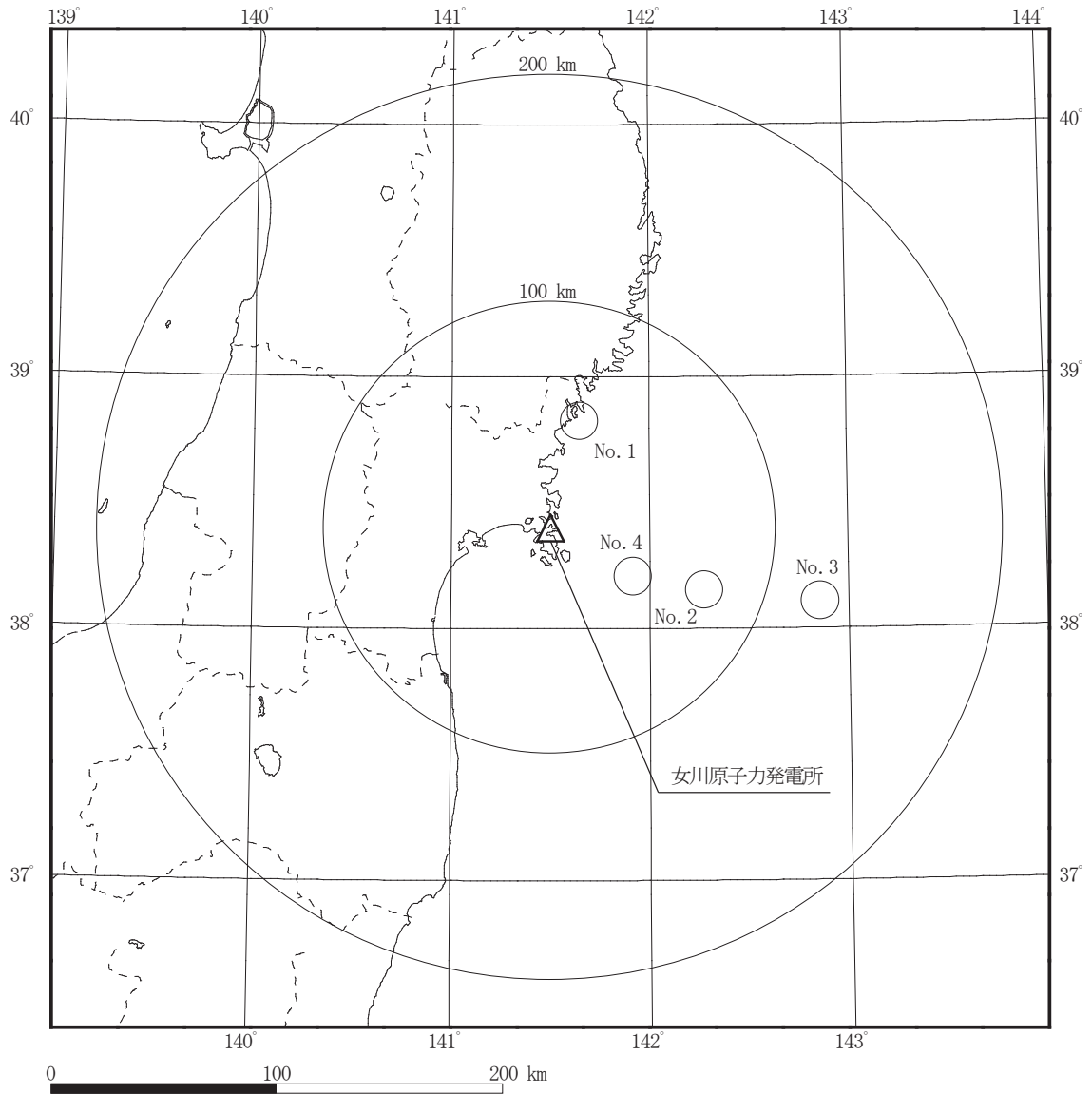


図 5-2 敷地で観測された主な地震の震央分布

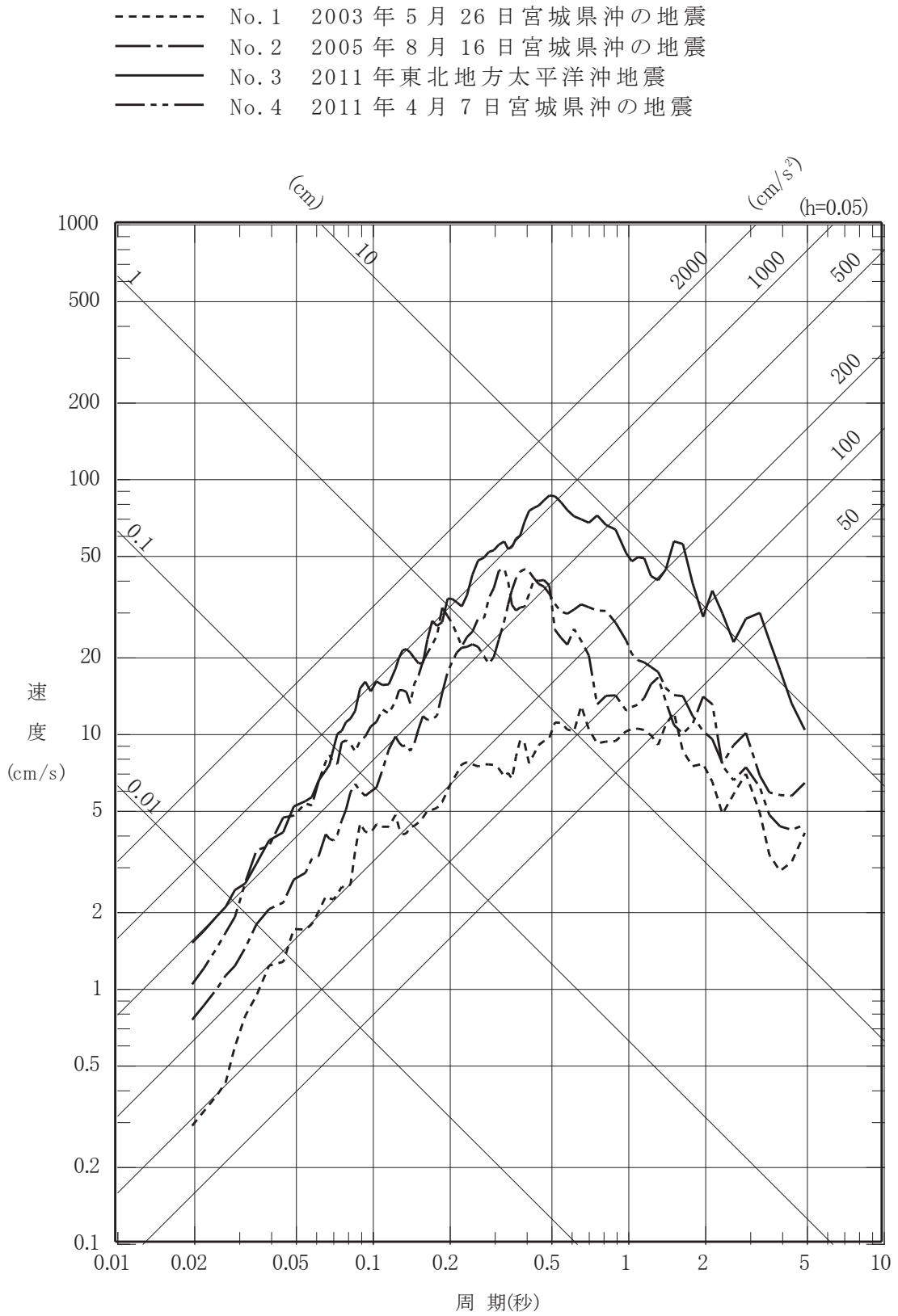


図 5-3(1) 観測記録の応答スペクトル

(岩盤上部の地震観測点 (O.P. -8.6m) N S 成分)

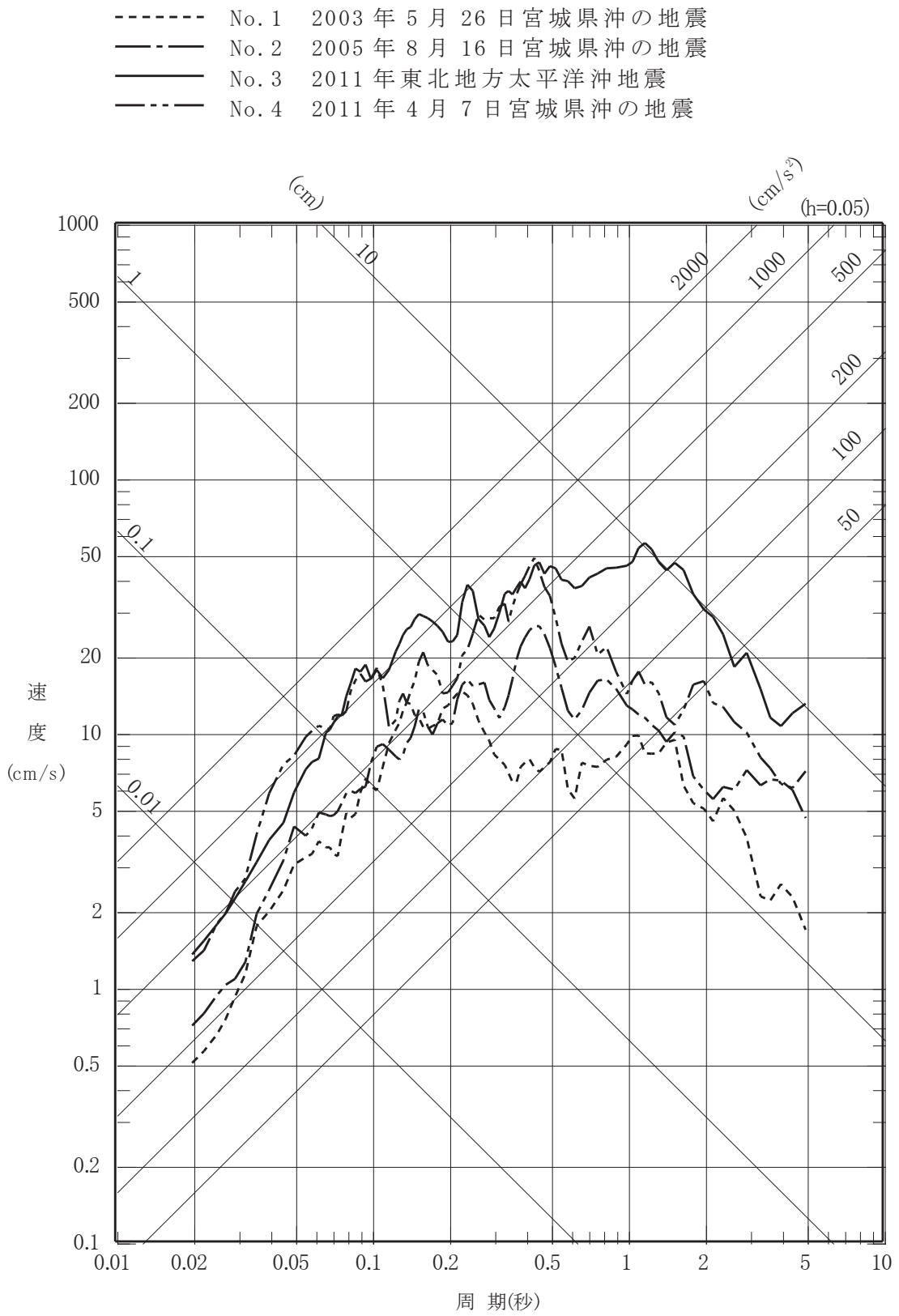


図 5-3(2) 観測記録の応答スペクトル
 (岩盤上部の地震観測点 (O.P. -8.6m) E W成分)

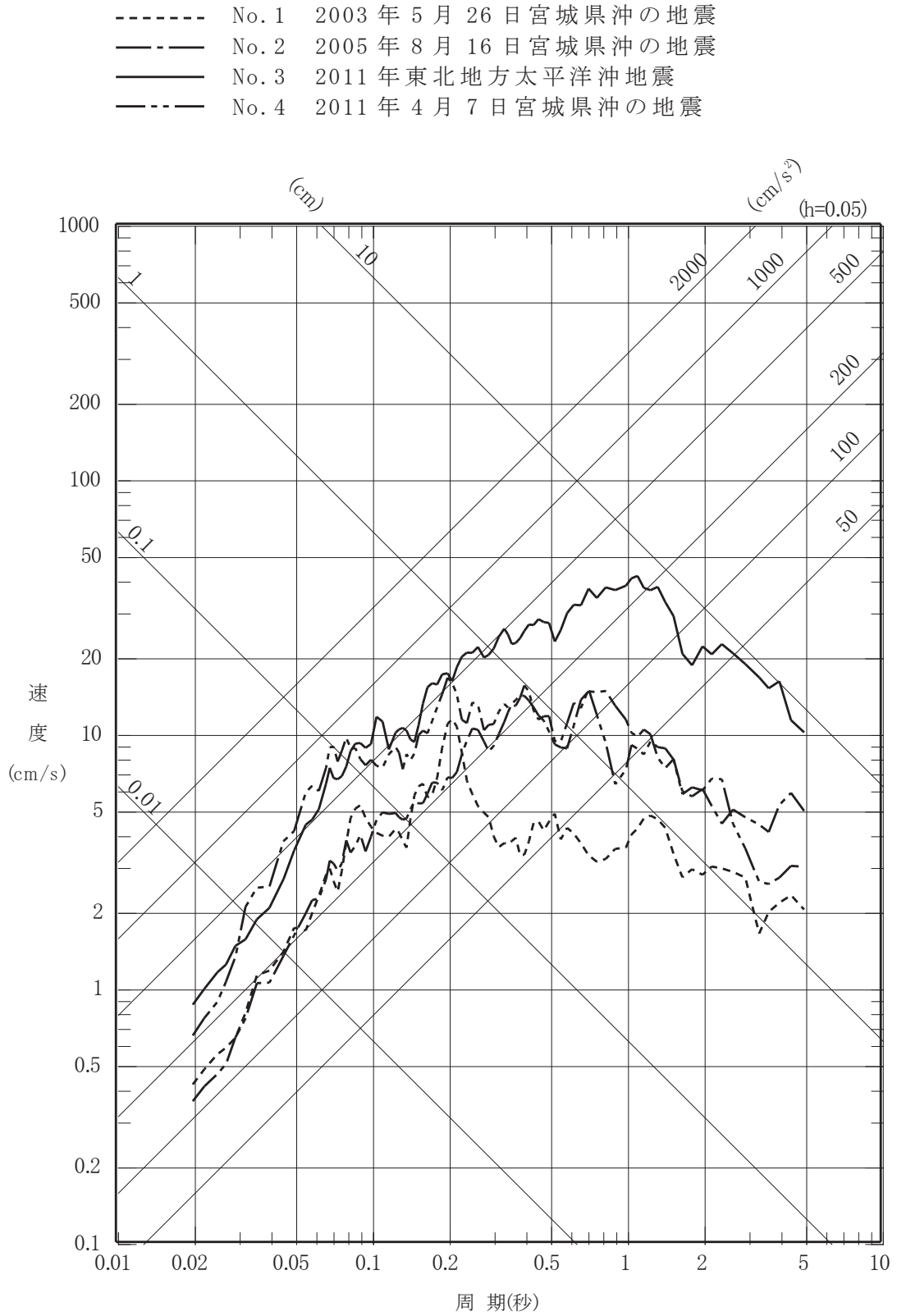


図 5-3(3) 観測記録の応答スペクトル
(岩盤上部の地震観測点 (O.P. -8.6m) UD成分)

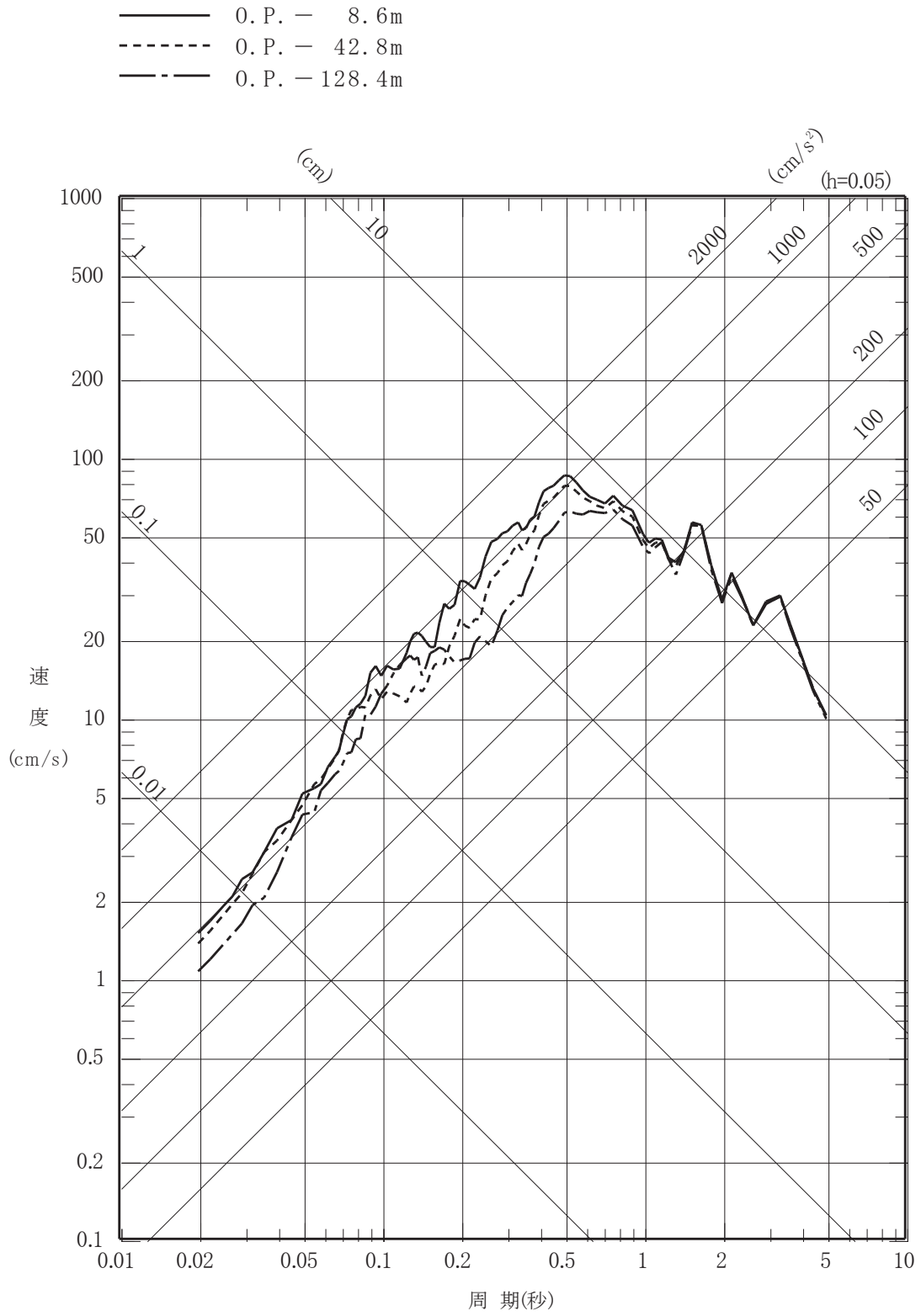


図 5-4(1) 2011 年東北地方太平洋沖地震の深度別応答スペクトル
(N S 成分)

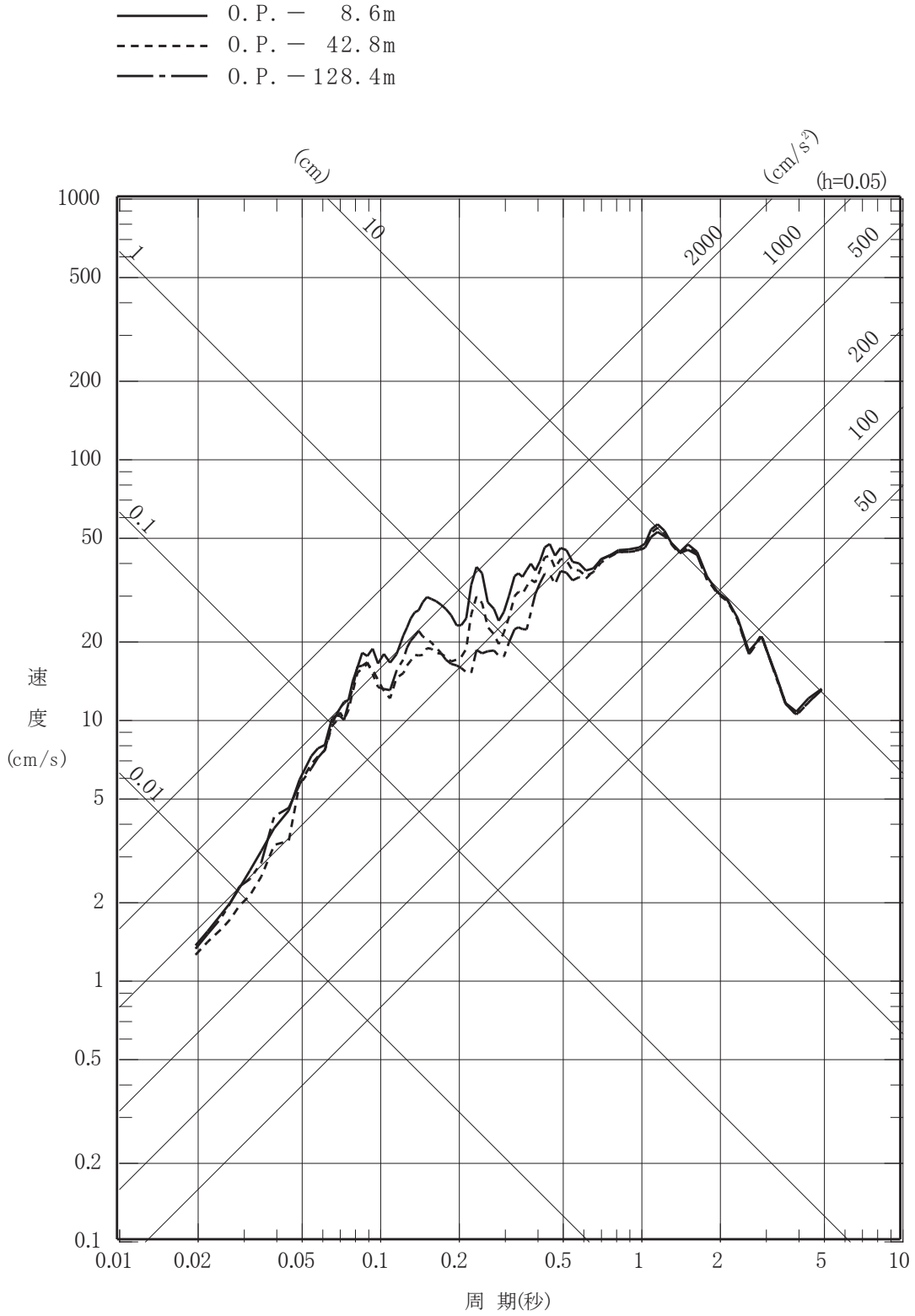


図 5-4(2) 2011 年東北地方太平洋沖地震の深度別応答スペクトル
(E W 成分)

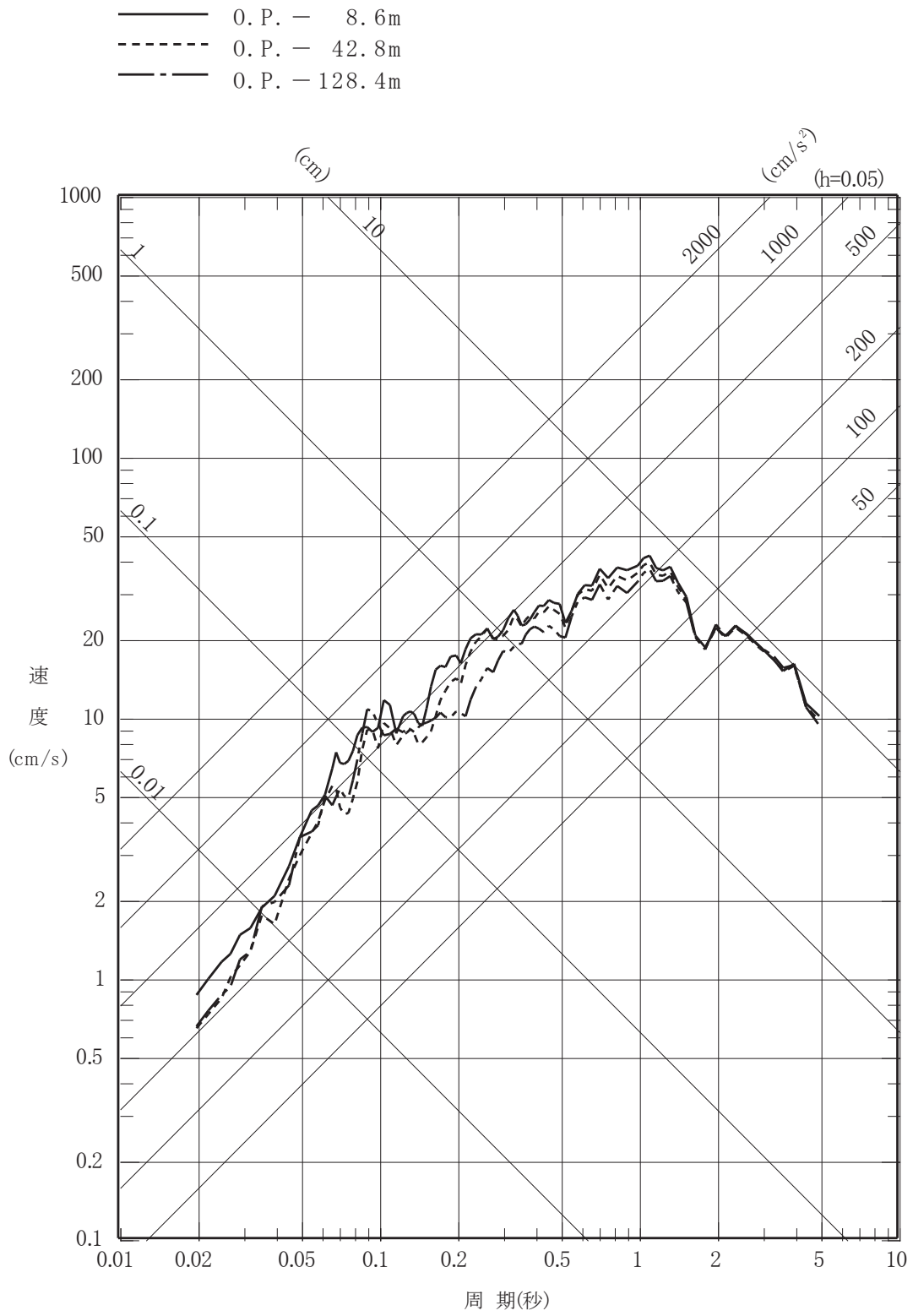
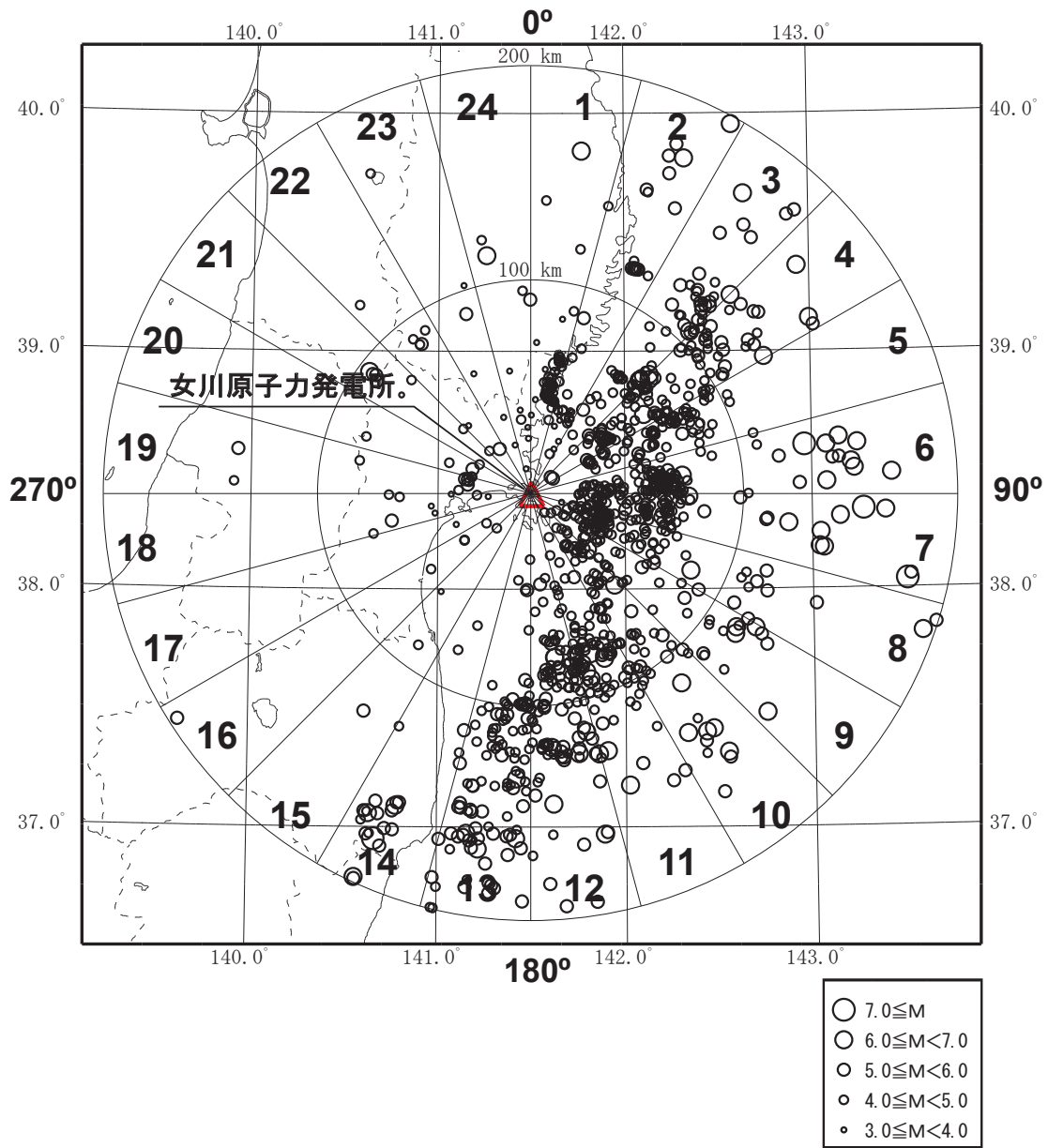
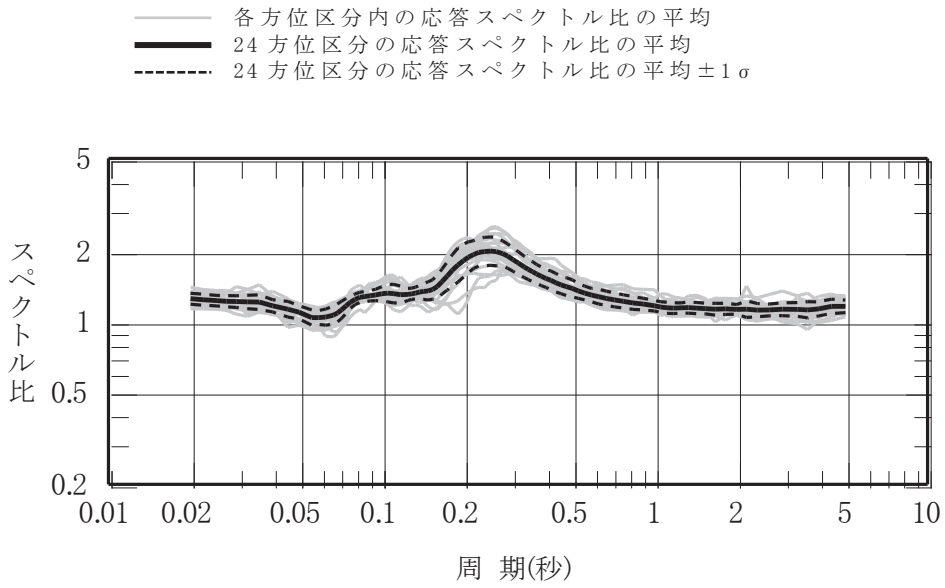


図 5-4(3) 2011 年東北地方太平洋沖地震の深度別応答スペクトル
(UD成分)

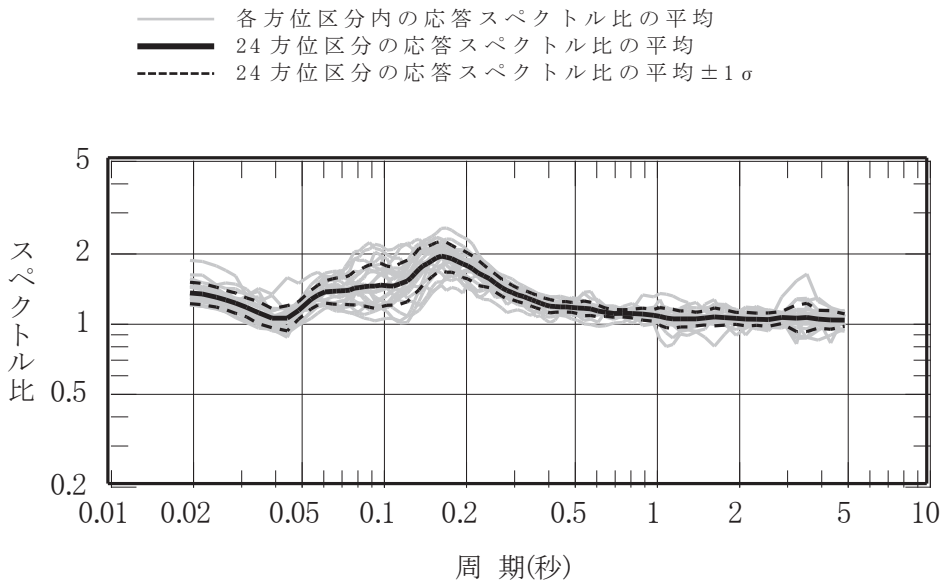


図中の数字（1～24）は方位区分を示す。

図 5-5 地震波の到来方向別の増幅特性の検討に用いた地震の震央分布



水平方向



鉛直方向

図 5-6(1) 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比

(自由地盤観測点 : 0. P. - 8.6m / 0. P. - 128.4m)

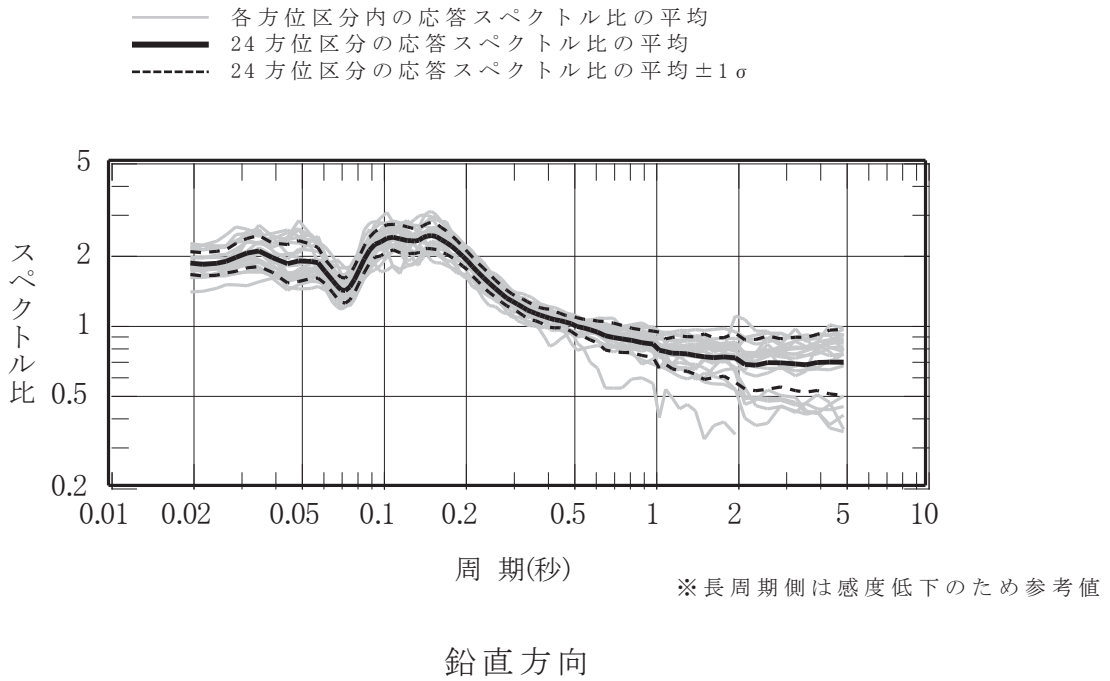
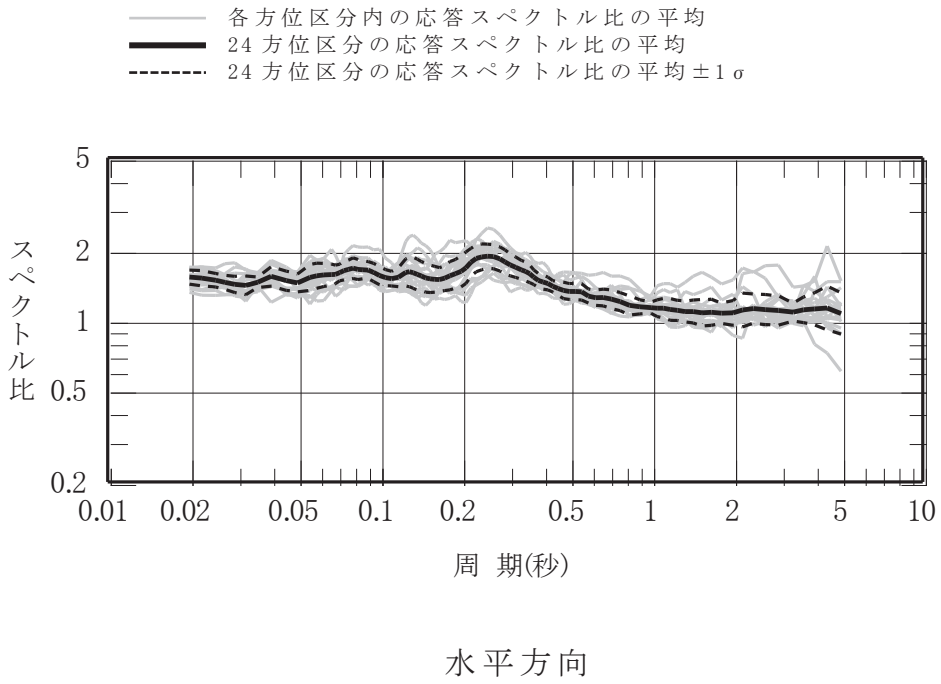
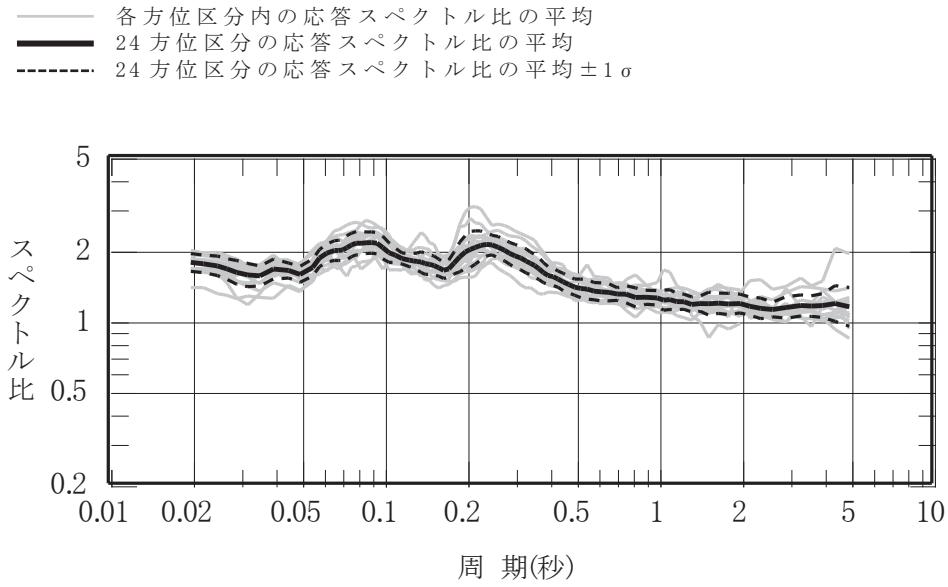
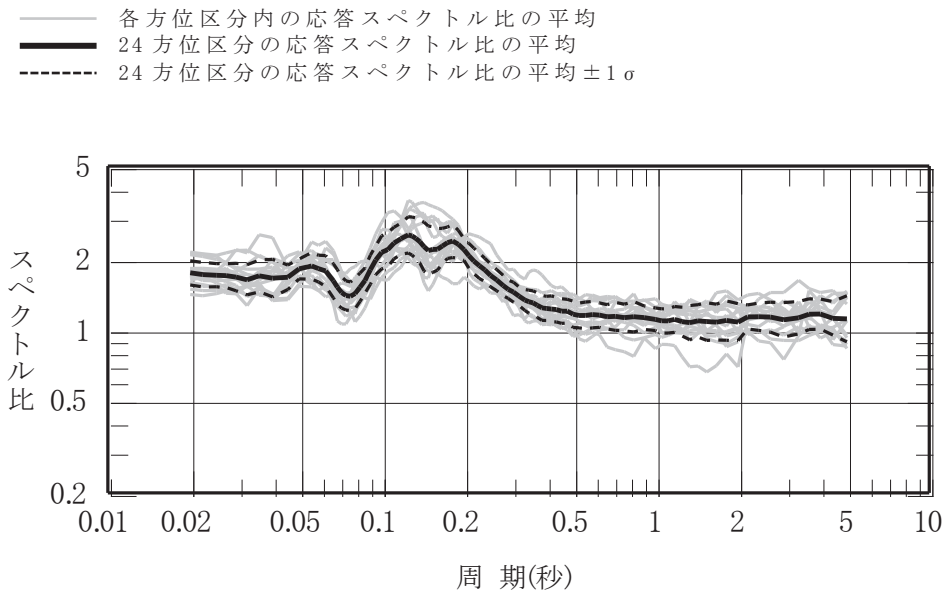


図 5-6(2) 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比

(2号炉原子炉建屋地中の観測点：O.P. - 15.0m / O.P. - 128.4m)



水平方向

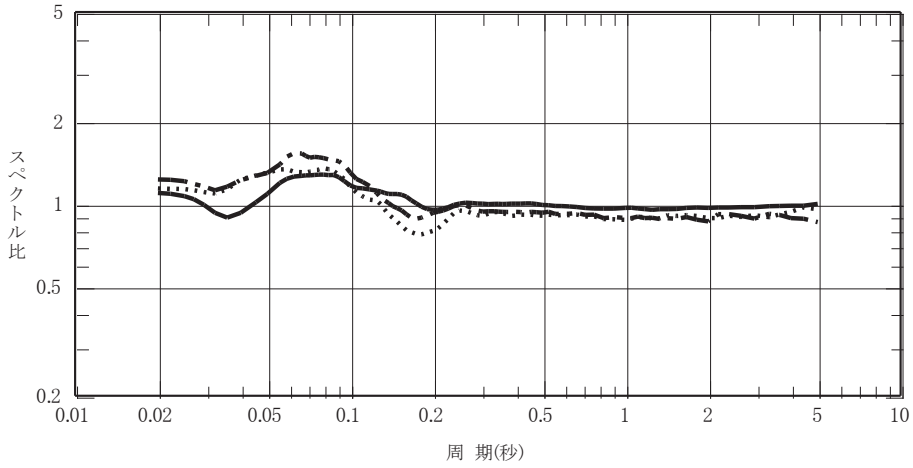


鉛直方向

図 5-6(3) 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比

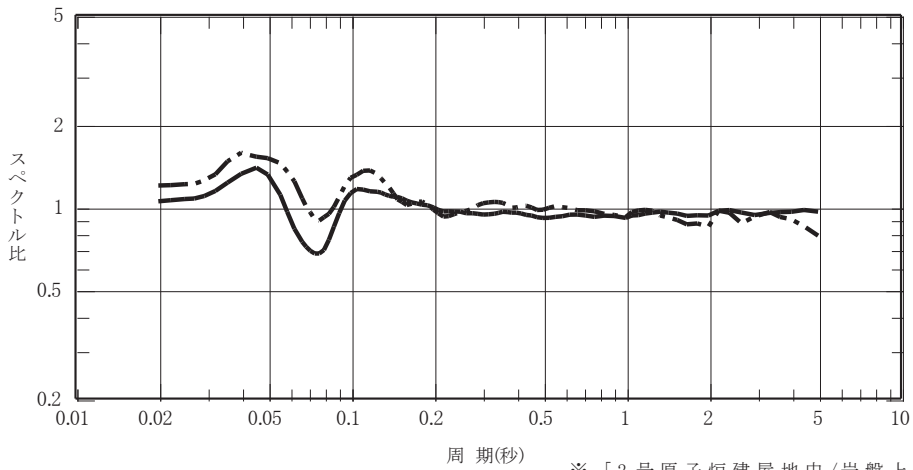
(3号炉原子炉建屋地中の観測点：O.P. - 15.0m / O.P. - 128.4m)

1号炉原子炉建屋地中 (O.P. - 8.6m) / 岩盤上部 (O.P. - 8.6m)
 2号炉原子炉建屋地中 (O.P. - 15.0m) / 岩盤上部 (O.P. - 8.6m)
 3号炉原子炉建屋地中 (O.P. - 15.0m) / 岩盤上部 (O.P. - 8.6m)



水平方向

1号炉原子炉建屋地中 (O.P. - 8.6m) / 岩盤上部 (O.P. - 8.6m)
 3号炉原子炉建屋地中 (O.P. - 15.0m) / 岩盤上部 (O.P. - 8.6m)



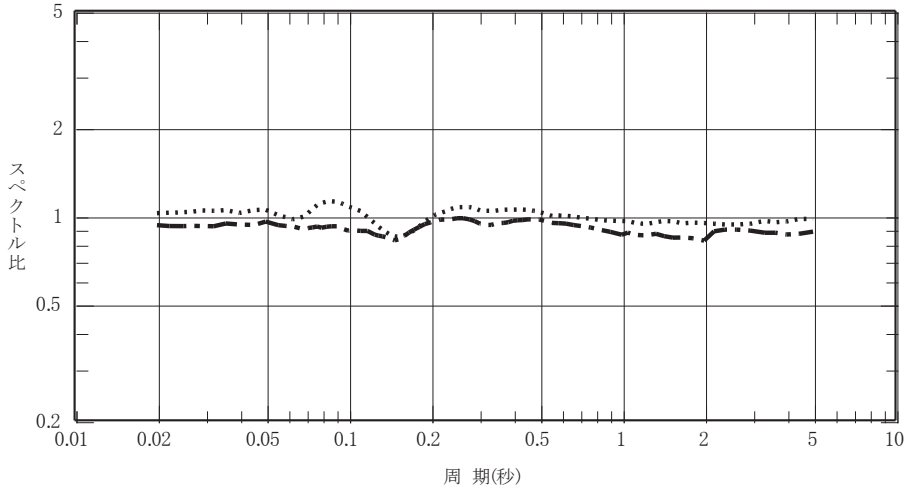
※「2号原子炉建屋地中/岩盤上部」については、地震計の感度低下により、適切な記録が得られていないため未記載。

鉛直方向

図 5-7(1) アレイ間の応答スペクトル比の比較

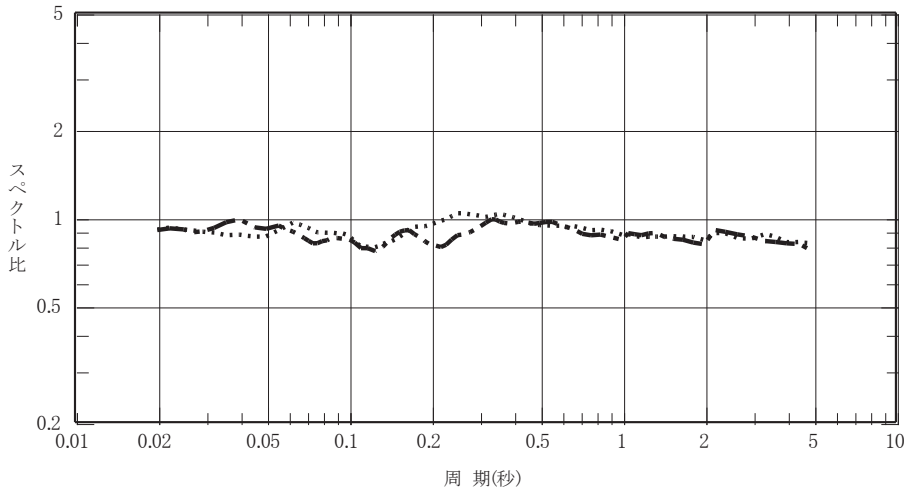
(浅部水平アレイ)

..... 2号炉原子炉建屋地中(0.P. - 128.4m) / 岩盤内(0.P. - 128.4m)
 - - - 3号炉原子炉建屋地中(0.P. - 128.4m) / 岩盤内(0.P. - 128.4m)



水平方向

..... 2号炉原子炉建屋地中(0.P. - 128.4m) / 岩盤内(0.P. - 128.4m)
 - - - 3号炉原子炉建屋地中(0.P. - 128.4m) / 岩盤内(0.P. - 128.4m)



鉛直方向

図 5-7(2) アレイ間の応答スペクトル比の比較
 (深部水平アレイ)

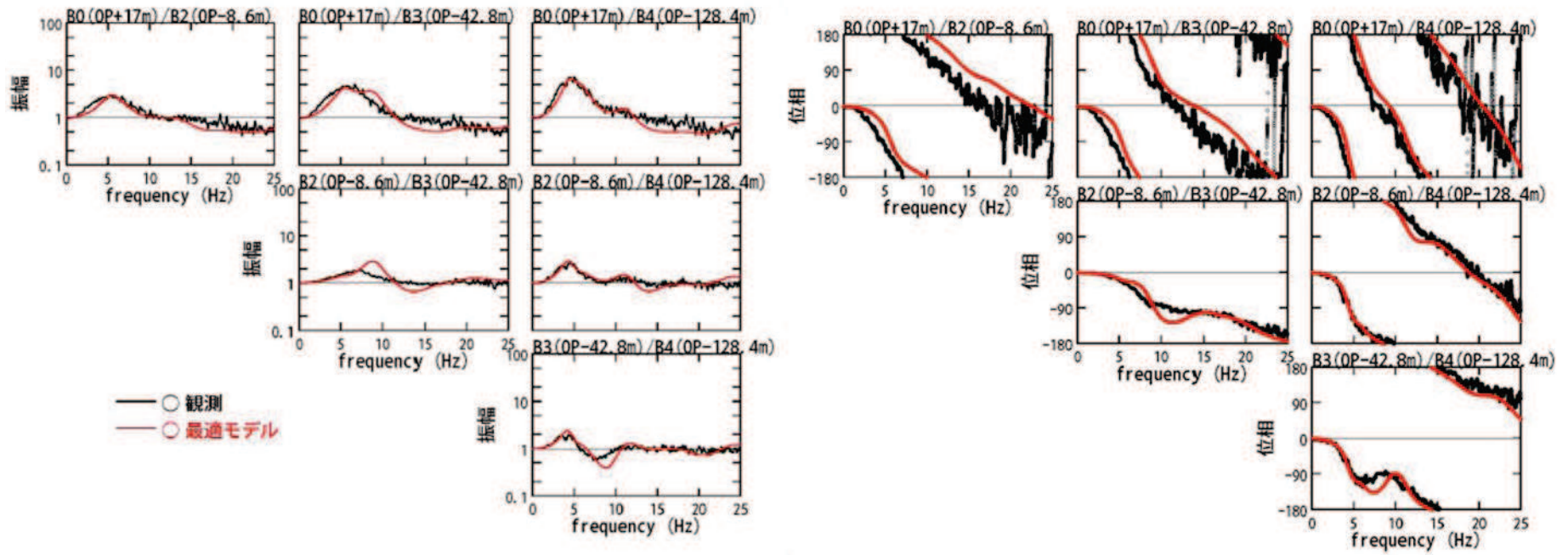


図 5-8 2011 年東北地方太平洋沖地震における敷地の観測記録と
はぎとり解析に用いる地下構造モデルの伝達関数の比較（水平方向）